

**REDUCCIÓN EN LA ADHESIVIDAD DE GOMA DE MASCAR POR MEDIO DE  
FORMULACIÓN CON INGREDIENTES TEXTURIZANTES**

**José Ignacio Guerrero Ramírez**

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Alimentos  
Universidad del Valle  
Santiago de Cali, Septiembre de 2012

# **REDUCCIÓN EN LA ADHESIVIDAD DE GOMA DE MASCAR POR MEDIO DE FORMULACIÓN CON INGREDIENTES TEXTURIZANTES**

**José Ignacio Guerrero Ramírez**

El presente documento se presenta como Proyecto Final de Tesis para aspirar al título de  
Magíster en Ingeniería de Alimentos

Directora: Aída Rodríguez de Stouvenel, Ph. D.

Co-Director: Alfredo Ayala, Ph. D.

Asesor Técnico: Jimmy Meza, Q.F.

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Alimentos  
Universidad del Valle  
Santiago de Cali, Septiembre de 2012

## CONTENIDO

1. Introducción.....	8
2. Objetivos.....	9
3. Justificación.....	10
4. Antecedentes.....	11
5. Marco Teórico.....	13
5.1. Historia del Chicle.....	13
5.2. Componentes del Chicle.....	14
5.2.1. Goma Base.....	14
5.2.2. Plastificantes.....	15
5.2.2.1. Lecitina.....	15
5.2.2.2. Monoglicéridos Acetilados (MGA).....	16
5.2.2.3. Agua.....	17
5.2.3. Humectantes.....	17
5.2.4. Edulcorantes.....	18
5.2.4.1. Sacarosa.....	18
5.2.4.2. Sorbitol.....	18
5.2.4.3. Aspartame y Acesulfame-K.....	19
5.2.4.4. Otros Edulcorantes: Xylitol, Manitol, Rebaudiosa, Sucralosa.....	19
5.2.5. Saborizantes.....	21
5.2.6. Otros Ingredientes.....	21
5.3. Textura y Reología del Chicle.....	22
5.3.1. Dureza (Shore).....	22
5.3.2. Prueba de Relajación.....	23
5.3.3. Análisis de Perfil de Textura.....	24
5.3.4. Prueba de Adhesividad de Shakanoshita.....	25
5.3.5. Análisis Sensorial de la Textura.....	26
6. Materiales y Metodología.....	28
6.1. Materias Primas y Formulación Preliminar.....	28
6.2. Fabricación de la goma de mascar.....	28
6.3. Preparación de la Muestra.....	29
6.3.1. Fase 1.....	29
6.3.2. Fase 2.....	29
6.4. Medición de Dureza (Shore).....	29
6.5. Prueba Relajación.....	30
6.6. Análisis TPA.....	30
6.7. Prueba de Adhesividad (Método Shakanoshita).....	30
6.8. Análisis Sensorial.....	31
7. Diseño Experimental.....	32
7.1. Diseño Etapa 1: Caracterización y Preselección.....	32
7.2. Diseño Etapa 2: Optimización.....	32
7.2.1. Análisis de la Máxima Pendiente.....	32
7.2.2. Diseño Central Compuesto.....	33
7.3. Diseño Etapa 3: Análisis Sensorial.....	33
8. Resultados y Discusión.....	34
8.1. Pruebas Preliminares.....	34
8.1.1. Formulación Preliminar.....	34

8.1.2. Pruebas Preliminares de TPA.....	35
8.1.3. Pruebas Preliminares de Relajación.....	35
8.1.4. Pruebas Preliminares de Dureza.....	36
8.1.5. Resultados y Conclusiones de las Pruebas preliminares.....	36
8.2. Etapa 1: Caracterización y Preselección.....	37
8.2.1. Diseño Experimental.....	37
8.2.2. Resultados TPA.....	38
8.2.2.1. Fracturabilidad (F).....	39
8.2.2.2. Dureza (D).....	39
8.2.2.3. Cohesividad (C).....	40
8.2.2.4. Adhesividad (A).....	40
8.2.2.5. Elasticidad (E).....	41
8.2.2.6. Gomosidad (G).....	42
8.2.2.7. Masticabilidad (M).....	43
8.2.2.8. Módulo de Deformación (MD).....	44
8.2.2.9. Análisis y Conclusiones Prueba TPA.....	45
8.2.3. Resultados Relajación.....	47
8.2.3.1. Modelo Generalizado de Maxwell.....	47
8.2.3.1.1. Módulo de Elasticidad del Primer Elemento, $E_1$ .....	48
8.2.3.1.2. Módulo de Elasticidad del Segundo Elemento, $E_2$ .....	48
8.2.3.1.3. Viscosidad del Primer Elemento, $\eta_1$ .....	49
8.2.3.1.4. Viscosidad del Segundo Elemento, $\eta_2$ .....	50
8.2.3.1.5. Esfuerzo de Equilibrio, $\sigma_e$ .....	50
8.2.3.1.6. Análisis del Modelo Maxwell Generalizado.....	51
8.2.3.2. Modelo de Peleg.....	52
8.2.3.2.1. Coeficiente $k_1$ .....	52
8.2.3.2.2. Coeficiente $k_2$ .....	53
8.2.3.2.3. Esfuerzo Inicial $\sigma_0$ .....	54
8.2.3.2.4. Análisis Modelo Peleg.....	54
8.2.3.3. Conclusiones Prueba Relajación.....	57
8.2.4. Resultados Dureza Shore.....	58
8.2.5. Conclusiones de la Etapa 1.....	61
8.3. Etapa 2: Optimización.....	62
8.3.1. Análisis de la Máxima Pendiente – Punto 1.....	62
8.3.1.1. Diseño Experimental.....	62
8.3.1.2. Adhesividad Metodo Shakanoshita al Metal.....	63
8.3.1.3. Adhesividad Metodo Shakanoshita a la Resina Acrílica.....	64
8.3.2. Análisis de Máxima Pendiente – Punto 2.....	64
8.3.3. Diseño Central Compuesto.....	65
8.3.3.1. Adhesividad Método Shakanoshita.....	66
8.3.3.2. Dureza Método Shakanoshita.....	67
8.3.4. Conclusiones de la Fase 2.....	68
8.4. Etapa 3: Análisis Sensorial.....	69
8.4.1. Round Table.....	69
8.4.2. Prueba Same-Difference.....	69
9. Conclusiones Finales.....	70



## FIGURAS

Figura 1. Estructura Química de la Lecitina.....	16
Figura 2. Estructura Química de los Monoglicéridos Acetilados.....	17
Figura 3. Estructura Química de la Glicerina.....	18
Figura 4. Comparación de diferentes ingredientes edulcorantes.....	20
Figura 5. Estructura Química de la Triacetina y Propilenglicol.....	21
Figura 6. Durometro Análogo tipo A (Shore).....	22
Figura 7. Escalas de durómetros shore para diferentes materiales.....	23
Figura 8. Gráfico tiempo vs Fuerza para el análisis TPA.....	24
Figura 9. Preparación de la Medida de Adhesividad en Goma de Mascar.....	25
Figura 10. Mezclador doble sigma para goma de mascar.....	28
Figura 11. Geometría y Tamaño de la muestra para Análisis TPA y Relajación.....	29
Figura 12. Sistema Experimental para Medición de TPA y Relajación .....	30
Figura 14. Sistema Experimental para Medición de Adhesividad Método Shakanoshita.....	31
Figura 15. Gráficos de Contorno para la Dureza.....	39
Figura 16. Gráficos de Contorno para Cohesividad.....	40
Figura 17. Gráficos de Contorno para Adhesividad.....	41
Figura 18. Gráficos de Contorno para Elasticidad.....	42
Figura 19. Gráficos de Contorno para Gomosidad.....	42
Figura 20. Gráficos de Contorno para Masticabilidad.....	43
Figura 21. Gráficos de Contorno para Módulo de Deformación.....	44
Figura 22. Gráfico de Interacciones para Adhesividad.....	45
Figura 23. Gráficos de Contorno para E1.....	48
Figura 24. Gráficos de Contorno para E2.....	49
Figura 25. Gráficos de Contorno para $\eta_1$ .....	49
Figura 26. Gráficos de Contorno para $\eta_2$ .....	50
Figura 27. Gráficos de Contorno para $\sigma_e$ .....	51
Figura 28. Gráficos de Contorno para el Coeficiente k1.....	53
Figura 29. Gráficos de Contorno para el Coeficiente k2.....	53
Figura 30. Gráficos de Contorno para el Esfuerzo Inicial $\sigma_0$ .....	54
Figura 31. Gráficos de Contorno y Efectos Estandarizados para $1/k1$ .....	55
Figura 32. Gráficos de Contorno y Efectos Estandarizados para el Tiempo de Relajación....	56
Figura 33. Gráficos de Contorno para Dureza Shore.. .....	59
Figura 34. Gráficos de datos y Regresiones para dureza TPA (D) y Dureza Shore (DS).....	60
Figura 35. Gráficos de Contorno para la Adhesividad al Metal – Máxima Pendiente.....	63
Figura 36. Gráficos de Contorno para la Adhesividad a Resina Acrílica Máx. Pendiente.....	64
Figura 37. Gráficos de Contorno y Sup. de Respuesta para Adhesividad Shakanoshita.....	66
Figura 38. Gráfico de Optimización para Adhesividad Método Shakanoshita.....	67
Figura 39. Gráficos de Contorno y Superficie de Respuesta para Dureza Shakanoshita.....	68

## TABLAS

Tabla 1. Definiciones Instrumentales para los Parámetros de Textura de TPA.....	25
Tabla 2. Definición Física y Sensorial de los parámetros texturales.....	27
Tabla 3. Materias Primas para la formulación preliminar.....	28
Tabla 4. Diseño Factorial $2^4$ para la Etapa 1.....	32
Tabla 5. Diseño Factorial $2^2$ , Método de la Máxima Pendiente para la Etapa 2.....	33
Tabla 6. Diseño Central Compuesto para la Etapa 2.....	33
Tabla 7. Formulación Preliminar F1.....	34
Tabla 8. Formulación Preliminar F2.....	34
Tabla 9. Definición de Rangos para los Factores en la Etapa 1.....	35
Tabla 10. Resultados de Adhesividad en las Formulas FP1 y FP2.....	36
Tabla 11. Codificación de los niveles para cada Factor.....	37
Tabla 12. Diseño Factorial $2^4$ para la Etapa 1.....	37
Tabla 13. Resultados de la prueba TPA para la Etapa 1.....	38
Tabla 14. Valor P para los diferentes ingredientes en Adhesividad.....	45
Tabla 15. Coeficientes para Ecuación de Maxwell Generalizado.....	47
Tabla 16. Tendencias de las variables del Modelo de Maxwell.....	51
Tabla 17. Coeficientes para Ecuación de Peleg .....	52
Tabla 18. Tendencias de las variables con los diferentes factores.....	54
Tabla 19. Tiempos de relajación encontrados con el Modelo de Peleg.....	56
Tabla 20. Durezas en Shores para los diferentes Tratamientos.....	58
Tabla 21. Correlación entre Dureza TPA (D) y Dureza Shore (DS).....	59
Tabla 22. Diseño Factorial $2^2$ para análisis de Máxima Pendiente.....	62
Tabla 23. Codificación de los niveles en cada factor para Máxima Pendiente.....	62
Tabla 24. Resultados Adhesividad Máxima Pendiente para Punto 1.....	63
Tabla 25. Diseño Central Compuesto.....	65
Tabla 26. Codificación de los niveles de cada Factor para Diseño Central Compuesto.....	65
Tabla 27. Resultados Adhesividad para Diseño Compuesto.....	66
Tabla 28. Resultados del Round Table.....	69

## ANEXOS

- Anexo 1. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por TPA para los diferentes tratamientos de la Etapa 1, comparadas con la Formula Preliminar.
- Anexo 2. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Coeficientes y ANOVA para Dureza (D) por TPA en la Etapa 1
- Anexo 3. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Cohesividad (C) en la Etapa 1
- Anexo 4. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad (A) en la Etapa 1
- Anexo 5. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Elasticidad (E) en la Etapa 1
- Anexo 6. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Gomosidad (G) en la Etapa 1
- Anexo 7. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Masticabilidad (M) en la Etapa 1
- Anexo 8. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Modulo de Deformación (MD) en la Etapa 1
- Anexo 9. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por la Prueba de Relajación para los diferentes tratamientos de la Etapa 1, comparadas con la Formula Preliminar
- Anexo 10. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Módulo de Elasticidad del Primer Elemento:  $E_1$  (Maxwell Generalizado)
- Anexo 11. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Módulo de Elasticidad del Segundo Elemento  $E_2$  (Modelo Maxwell Generalizado)
- Anexo 12. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Viscosidad del Elemento 1,  $\eta_1$  (Modelo Maxwell) en la Etapa 1
- Anexo 13. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Viscosidad del Elemento 2,  $\eta_2$  (Modelo Maxwell) en la Etapa 1
- Anexo 14. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Esfuerzo de Equilibrio  $\sigma_e$  (Modelo Maxwell Generalizado) en la Etapa 1
- Anexo 15. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Coeficiente  $k_1$  (Modelo Peleg) en la Etapa 1
- Anexo 16. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Coeficiente  $k_2$  (Modelo Peleg) en la Etapa 1
- Anexo 17. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Esfuerzo Inicial  $\sigma_0$  (Modelo Peleg) en la Etapa 1
- Anexo 18. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Dureza Shore (S) en la Etapa 1
- Anexo 19. Análisis Estadístico Correlación Dureza TPA (D) vs Dureza Shore (DS)
- Anexo 20. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad en la Etapa 2 – Máxima Pendiente
- Anexo 21. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por la Prueba de Shakanoshita para los diferentes tratamientos de la Etapa 2
- Anexo 22. Gráficas de Residuales y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad método Shakanoshita – Diseño Central Rotatorio
- Anexo 23. Gráficas de Residuales y Tabla de Efectos y ANOVA para Dureza Método Shakanoshita – Diseño Central Rotatorio

## 1. INTRODUCCIÓN

La masticación de goma de mascar es un placer para la mayoría de las personas, sin embargo, ofrece un problema para aquellos consumidores que tienen trabajos dentales, debido a la *alta adhesividad* del chicle a los materiales metálicos, cerámicos y poliméricos de los que están constituidos, convirtiéndose en una actividad poco agradable. Para resolver este problema, algunas compañías productoras han desarrollado gomas bases con mezclas de polímeros que declaran una reducción en la pegajosidad en trabajos dentales. El investigador japonés Sakanoshita (2006, 2008, 2009) investigó la diferencia de la respuesta obtenida entre chicles regulares y aquellos que declaran ser menos pegajosos utilizando métodos objetivos (reómetro) y subjetivos (panel sensorial). Los resultados demuestran que hay una clara reducción en la pegajosidad a los aparatos dentales en chicles fabricados con la goma base especial.

Por otro lado, después de masticar el chicle al desechar el residuo se pueden ocasionar problemas medioambientales que se derivan principalmente de dos características de la goma: la *baja biodegradabilidad* y la *alta adhesividad*. Si la forma de desechar el chicle no es la adecuada, es posible encontrar residuos de masticación del chicle en diferentes lugares tales como el piso, paredes, mesas, pupitres escolares y debido a lo anterior ese chicle podría adherirse luego en los zapatos, la ropa o el pelo de las personas. Dada la alta acumulación de chicle en lugares públicos de todas las ciudades del mundo, diferentes instituciones gubernamentales, universitarias e industriales se han preocupado recientemente en buscar soluciones para estos dos problemas a modo de contribuir a mejores condiciones ambientales facilitando la limpieza en las calles. Investigadores británicos desarrollaron una goma base de fácil remoción a superficies porosas como cemento y tela, consiguiendo además una mejorada degradación con la ayuda de la luz solar, la cual está en proceso de comercialización en Reino Unido (University of Bristol, 2007). El uso de este tipo de gomas bases está siendo impulsado igualmente por el gobierno español para utilizarse en la manufactura de goma de mascar (El País, Nov 2010).

A pesar de los avances, el problema de pegajosidad durante (trabajos dentales) y después de la masticación (calles y zonas publicas) continúa debido principalmente a que estas gomas bases desarrolladas utilizan materias primas costosas y además están protegidas con patentes, pudiendo ser aplicadas solamente a productos de alto costo lo que implica que su éxito comercial está supeditado exclusivamente a consumidores de alto desembolso económico. Por este motivo, se propone investigar la reducción de la adhesividad utilizando ingredientes de bajo costo en la formulación de la goma de mascar, con el fin de que estos resultados puedan ser aplicados más extensivamente, al no representar un incremento en el costo de materias primas y se puedan conjugar con cualquier tipo de goma base.

La presente propuesta de investigación se centrará en el problema de la adhesividad del chicle durante la masticación, como punto inicial de la caracterización reológica de la goma de mascar. En esta etapa, se evaluará la adhesividad del chicle a los dientes y/o aparatos dentales por medio análisis de perfil de textura (TPA). Se propone adicionalmente una metodología que permitirá evaluar en una segunda etapa la adhesividad del chicle masticado por medio del uso de una prueba *in vitro* (simulador de masticación mecánico) y análisis reológico por TPA.

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Determinar la formulación con que se alcanzan los menores niveles de adhesividad en goma de mascar.

### **Objetivos Específicos:**

- Seleccionar el ingrediente o combinación de ingredientes texturizantes que ejercen efectos significativos en la reducción de la adhesividad.
- Establecer el efecto de los ingredientes texturizantes sobre las propiedades texturales de la goma de mascar.
- Analizar la correlación entre los métodos de medición de la textura empleando Durómetro Shore, Relajación y TPA.
- Evaluar la reducción de la adhesividad en goma de mascar antes y durante el proceso de masticación.

### 3. JUSTIFICACION

Los ingredientes texturizantes, como su nombre lo indica son aquellos ingredientes que pueden ser utilizados dentro de la formulación de una goma de mascar y tienen la capacidad de modificar las características reológicas del chicle, incluyendo la adhesividad. Estos texturizantes pueden ser plastificantes, elementos de relleno, humectantes y emulsificantes, cada uno impartiendo una característica especial en la textura del chicle. Esto significa que por medio del análisis del comportamiento reológico, es posible seleccionar los ingredientes que aportan en mayor medida a la reducción de pegajosidad de la goma de mascar.

Para la resolución del problema de *adhesividad* en goma de mascar por medio de adición de ingredientes texturizantes se han publicado patentes en las cuales se ha modificado la formulación de gomas bases aplicando agentes antiadhesivos tales como etilcelulosa, ácido tánico, resinas poliolefinas, sulfidos, sales minerales, grasas y jabones. Sin embargo, el uso de estos ingredientes no solo no han garantizado el éxito en la reducción de la adhesividad sino que en varias ocasiones se han creado otros problemas: efecto adverso en el sabor, alto costo, daños en las líneas de producción o en algunos casos se disuelven tan rápido que las propiedades adhesivas regresan durante la masticación (Sozzi, 2011).

En la literatura se han dado indicios del efecto en la adhesividad de ciertos ingredientes comunes en las formulaciones de goma de mascar tales como la lecitina, monoglicéridos acetilados, agua e ingredientes de relleno como talco. Sin embargo, no se ha realizado ninguna investigación científicamente válida que demuestre una reducción significativa del problema con el uso de estos ingredientes. Es por este motivo que en la presente investigación se plantea el análisis con ingredientes comunes de modo que pueda ser transferido el conocimiento en las diferentes formulaciones de goma de mascar.

Para cerrar el ciclo de investigación, es necesario involucrar la evaluación sensorial con el fin de asegurar que los cambios encontrados en textura del chicle consigan la aprobación del consumidor, incluyendo en el análisis además de la adhesividad, características como la masticabilidad, dureza, impacto y duración del sabor que son indudablemente las variables que pueden en mayor medida promover su re-compra. Investigadores de Lotte Ltd., en conjunto con la Universidad de Wayo (Japón) investigaron la relación entre la medición de adhesividad de la goma de mascar a los trabajos dentales por medio de un texturómetro y la respuesta sensorial obtenida por medio de panel, consiguiendo resultados con muy buenas correlaciones (Sakanoshita, 2008, 2009).

#### 4. ANTECEDENTES

Muy pocas publicaciones existen en cuanto al análisis de ingredientes texturizantes en gomas de mascar; sin embargo si hay bastante información sobre estudios realizados en alimentos amorfos para tratar de explicar su comportamiento reológico, haciendo correlaciones con evaluación sensorial.

Van Nieuwenhuyzen (2003) analizó el efecto de la lecitina en una goma de mascar encontrando mejoras significativas en el mantenimiento de la flexibilidad y dureza del producto con el paso del tiempo de almacenamiento al aumentar la cantidad de lecitina, sin encontrar diferencias significativas en sabor tras evaluación sensorial con panel entrenado. Patel (1980) investigó el efecto de la lecitina en la goma de mascar y determinó que con un 1% se podía conseguir la consistencia deseada por el consumidor. Dave (1991) analizó el efecto de la lecitina al aplicarse en la superficie de la goma de mascar, encontrando que se crea una capa protectora que ayuda a facilitar el proceso de recubierto. (Weyland, 2008).

Pittia (2008) estudió el efecto antiplastificante del agua en alimentos amorfos, encontrando que a bajos niveles de humedad el agua tiene un efecto plastificante pero desde cierto valor ejerce el efecto contrario, ocasionando una baja cohesividad de los productos. Leblanc (2002) analizó las interacciones entre el caucho y componentes de relleno en las propiedades reológicas del producto, planteando que a mayores niveles de relleno (como el talco) aumenta la viscosidad y el módulo elástico ( $G'$ ). Burlet (2002) realizó un análisis térmico y de calorimetría en elastómeros, mencionando que los tiempos de relajación son influenciados por las características mismas del elastómero (elasticidad y viscosidad), así como del tiempo y la temperatura.

Kealy (2006) aplicó las tecnologías de reología líquida y sólida para la caracterización de textura de alimentos semi sólidos, incluyendo pruebas de TPA y con el reómetro, comprobando los resultados con análisis sensorial. Encontró buena correlación en las variables de adhesividad y dureza pero baja correlación en cohesividad entre TPA y el panel sensorial. Al comparar estos valores con la viscosidad en el reómetro, encontró que el módulo complejo está relacionado con la adhesividad y dureza y el módulo de viscosidad con la cohesividad.

Nakazawa (2000) encontró que las personas producen un promedio de 1 ml de saliva durante la masticación y si se mastica un chicle se produce entre 3 y 4 veces más, asimismo encontró que la velocidad de masticación en la primera mordida alcanza un máximo de 30-40 mm/s. La presión de los dientes fue investigada por Kawano (1991) y Arisumi (1989), informando que sin importar el tiempo de masticación la duración de la presión es de solamente 0.1 a 0.3 segundos, considerando los efectos de la saliva y su temperatura en la cavidad bucal, la cual fue considerada como 30 grados centígrados en promedio (Shakanoshita, 2006).

Shakanoshita (2006) realizó una investigación sobre la adhesividad de gomas de mascar en materiales cerámicos de trabajos dentales, desarrollando una técnica de medición de esta adhesividad basada en la metodología TPA donde se buscaba simular el proceso de masticación. En esta técnica se sumerge la goma de mascar en un baño termostático a 30°C durante 3 minutos antes de iniciar la compresión que es hecha por un émbolo que tiene una punta de un material cerámico como el empleado en prótesis dentales.

Shakanoshita (2006) demostró una diferencia significativa en la adhesividad entre la masticación con un tiempo de descanso en la máxima compresión respecto a la masticación sin reposo, siendo mayor en la primera. Sin embargo, no encontró diferencias significativas en la adhesividad al incrementar el tiempo de reposo. Sugirió que en la masticación sin reposo la adhesividad es limitada debido a que las moléculas del chicle no se encuentran correctamente en contacto y hay una capa de agua que las separa del émbolo lo que hace que el chicle no se pegue inmediatamente a la resina.

Otros métodos que simulan el proceso de masticación han sido desarrollados entre otros los que se destacan los desarrollados por Kvist (2000), Salles (2007) y Woda (2010). En estos simuladores se han llevado a cabo investigaciones de liberación de sabores e ingredientes medicinales aplicados a gomas de mascar y podrían ser utilizados para investigaciones relacionadas con la adhesividad de goma de mascar después del proceso de masticación.

Aunque no se han realizado publicaciones sobre formulaciones de goma de mascar para reducir la adhesividad, sí existe una buena cantidad de patentes de diferentes compañías en las cuales se ha modificado la goma base aplicando materiales antiadhesivos, aunque además de ser más costosos tienen efectos negativos en la aceptación del consumidor (Sozzi, 2011).

Shakanoshita (2008) realizó la comparación de la adhesividad a diferentes materiales dentales entre goma de mascar diseñada para como de baja adhesividad y goma de mascar ordinaria tanto por medición instrumental y encuesta realizada a un Panel de evaluadores. En el caso de la resina acrílica se encontró que la adhesividad de la goma de mascar de baja adhesividad fue un quinto de la goma ordinaria. Se encontró una buena correlación entre los resultados obtenidos por la medición instrumental y por el panel sensorial.



## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. Historia del Chicle

El chicle originalmente conocido como chitcli por los aztecas, es la savia lechosa seca o látex del árbol centroamericano llamado *sapodilla*. Esta sustancia fue consumida muy comúnmente por los aztecas y posteriormente Mexicanos.

Al general mexicano *Santa Ana* que lideró el intento de independencia de Texas de México, le agradaba mascar esta resina insípida, y en Staten Island la mostró a *Thomas Adams*, fotógrafo e inventor, que la importó en gran cantidad y trató inútilmente de convertirla en un caucho sintético de bajo precio. Para recuperar parte de su inversión, *Adams*, recordando la avidez con que su hijo *Horatio*, al igual que *Santa Ana*, masticaba chicle, decidió lanzar éste al mercado como una alternativa a las pastillas de cera de parafina que entonces se vendían con este fin.

Las primeras bolitas de chicle sin sabor se pusieron a la venta en una droguería de Hoboken (NJ), en febrero de 1871, al precio de un penique la unidad. El envase era una caja cuya etiqueta rezaba: “*Adams New York Gum-Snapping and Stretching*”, y las vendía a lo largo de la costa Este uno de los hijos de *Adams*. El chicle demostró ser superior a la parafina, y pronto se ofreció a la clientela en tiras largas y delgadas, marcadas de modo que el tendero pudiera cortar la longitud correspondiente a un penique. Su consistencia, parecida a la de un *toffee*, obligaba a las mandíbulas a trabajar.

El primero en aromatizar el chicle, en el año 1875, fue *John Colgan*, un farmacéutico de Louisville (KY), pero no utilizó esencias de cereza o de menta piperita, sino bálsamo medicinal de *tolú*, una resina aromática extraída de la corteza de una leguminosa sudamericana, *Myroxylon toluiferom*, utilizada corrientemente como jarabe contra la tos para los niños. *Colgan* dio a su goma el nombre de *Taffy-Tolu*, y su éxito alentó la aparición de otros chicles perfumados.

*Thomas Adams* lanzó al mercado una goma de sasafrás y después otra con esencia de regaliz, llamada *Black Jack* y que es hoy la más antigua entre las aromatizadas. En el año 1880, un fabricante de Cleveland (OH), presentó una goma que se convertiría en uno de los sabores más populares de la industria: el chicle de menta piperita.

Hoy en día grandes compañías han evolucionado con la industria del chicle tales como Wrigley's, Cadbury Adams (hoy Kraft Foods) o Lotte donde se han desarrollado innumerables formulaciones de chicle que pueden o no contener azúcar, que pueden hacer bombas o ser masticables y recientemente se han adicionado ingredientes que brindan un beneficio adicional como aquellas que ayudan a blanquear los dientes (estearato de sodio) o aumentar la energía (cafeína).

## 5.2. Componentes del Chicle

El chicle es un alimento semi-sólido no cristalino que es elaborado a partir de la mezcla de diferentes ingredientes, entre los que se encuentran goma base, edulcorantes, humectantes, emulsificantes, colores, sabores y ácidos. Esta combinación permite a la goma de mascar, a diferencia de otros alimentos, entregar placer en la masticación y la sensación de sabor que es liberado durante un extenso período de tiempo. A continuación se presentan aquellos ingredientes que tienen una incidencia en la textura de la goma de mascar.

### 5.2.1. Goma Base

La **goma base** es el principal ingrediente funcional del chicle y contiene numerosos componentes escogidos para proveer atributos específicos. El ingrediente funcional primario de la goma base es el elastómero, que puede ser de origen natural como el látex vegetal u obtenido a partir de ingredientes sintéticos, generalmente derivados del petróleo (Weyland, 2008).

El elastómero es un polímero termoplástico que puede ser derretido y solidificado. Estos polímeros termoplásticos son hechos de cadenas largas que a bajas temperaturas son rígidos, pero cuando se les aplica calor se suavizan y son maleables cuando alcanzan la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). Por debajo de esta temperatura, el polímero es frágil (estado vítreo), pero si la temperatura está por encima del  $T_g$ , el producto es flexible y maleable (estado gomoso). Esta es una característica deseable en la goma de mascar (Walti-Chanes, 2008)

Uno de los polímeros usados en goma de mascar es el Acetato de Polivinilo (PVA); su temperatura de transición vítrea es ligeramente mayor que la temperatura ambiente (28-30°C). Esto causa un estado del material duro y estable a temperatura ambiente, pero se vuelve fluido y pegajoso cuando se incrementa la temperatura. Este polímero de bajo peso molecular se comporta como un caucho cuando se mastica; el contenido de humedad afecta propiedades físicas, como la pegajosidad y la resistencia.

La característica más importante del elastómero es la elasticidad o habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas. En términos simples esto significa la habilidad de estiramiento y retorno reversible a su forma original. El requerimiento clave para que se cumpla esta habilidad (gomosidad) es que el polímero consista de moléculas de cadenas largas y flexibles (Burlett, 2002).

Sin embargo, los elastómeros por si mismos son algo limitados en su utilidad; es por eso que se realiza la adición de diferentes materiales (aditivos) para mejorar las propiedades de los elastómeros, cada uno tiene un propósito específico: los *rellenos* (carbonato de calcio, talco, fibras cortas) se utilizan para incrementar el módulo y mejorar dureza; *aceites* (aceites aromáticos o parafínicos) se utilizan para mejorar extensibilidad; otros coadyuvantes de proceso como *plastificantes*, *suavizantes* y antioxidantes pueden ser adicionados a la goma base para proveer cualidades de textura adecuadas (suavidad, adherencia) y no se requiere que aparezcan en la etiqueta del producto (Burlett, 2002; Weyland, 2008).

Los *componentes de relleno de la goma base*, entre los que se nombran carbonato de calcio, **Talco** y fosfato dicálcico, se utilizan para incrementar el módulo y mejorar la dureza y se

utilizan generalmente entre un 5 y 50% dependiendo de la necesidad. Los compuestos poliméricos rellenos son sistemas complejos que exhiben un número de propiedades de flujo singulares y muy diferentes de los polímeros no rellenos. En adición al efecto de la hidrodinámica usual, el uso de rellenos imparte modificaciones en las propiedades de flujo debido a las fuertes interacciones entre el elastómero y las partículas de relleno (Leblanc, 2002)

### 5.2.2. Plastificantes

Se denominan **plastificantes** a aquellos ingredientes que actúan primariamente para suavizar la goma base a través de interacciones eutécticas con componentes lipídicos, reduciendo la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y por consiguiente transforman un material duro y frágil en un producto suave y flexible. Los *emulsificantes tienen efecto plastificante* que además promueven la retención de agua e hidratación de la goma base durante la masticación. Pueden ser adicionados en la formulación de la goma base o directamente en la formulación de la goma de mascar. Entre los emulsificantes que se pueden adicionar a la goma base se incluyen: lecitina, monoestearato de glicerilo y monoglicéridos acetilados, mono y diglicéridos, glicerol lactopalmato, sorbitan monoestearato, triglicerol monoestearato, polisorbato 60, 65 y 80 (Weyland, 2008). El efecto plastificante de los emulsificantes se explica por dos mecanismos: las moléculas plastificantes buscan fuerzas atractivas entre las cadenas de polímero y aumentan los espacios entre las cadenas de polímero permitiendo segmentos con mayor libertad de movimiento (Pittia, 2008).

Además de los emulsificantes, otros ingredientes pueden tener también un efecto plastificante, tal como sucede con el *agua*, el cual crea un efecto de plastificación de la goma base al reducir la temperatura de transición vítrea. Los plastificantes y emulsificantes pueden actuar como transportadores de colores y sabores adicionando en la dispersión de estos ingredientes importantes con la goma base.

A continuación se analizarán los plastificantes más empleados en las formulaciones de goma de mascar:

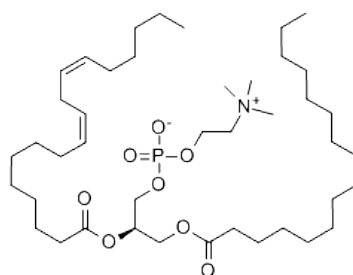
#### 5.2.2.1. Lecitina

La **lecitina** es el emulsificante más empleado en goma de mascar, siendo generalmente aplicado hasta un 1% en la formulación, proveyendo importantes efectos texturizantes y sensoriales en la goma de mascar: suaviza la goma base, reduce la adhesividad, aumenta la resiliencia, flexibilidad y capacidad de estiramiento, imparte mayor percepción y duración del sabor, aumenta la vida útil, aumenta la hidratación durante la masticación, reduce la dureza y elasticidad y mejora la formación de bombas (Van Nieuwenhuysen, 2003). Estas cualidades proveen además ventajas significativas en el procesamiento, aumentando la eficiencia en la producción. La lecitina puede ser hidratada o mezclada con un aceite vegetal o emulsificantes grasos adecuados como mono y diglicéridos, para ayudar en la dispersión en la goma de mascar. Si la lecitina es hidratada, además puede ser utilizada para proveer un recubrimiento protector a la goma de mascar antes del proceso de recubrimiento con azúcar. Normalmente las gomas de mascar solo pueden ser recubiertas cuando se encuentran duras, pero usando un recubrimiento de lecitina hidratada es posible luego recubrir con jarabe de azúcar y luego permitir que la lecitina suavice la goma de mascar durante el almacenamiento. Los cubrimientos con emulsificantes cuando se secan forman una base adecuada para recubrimientos de jarabe de azúcar (Weyland, 2008).

En otros productos de confitería la lecitina es fundamental para proveer cualidades texturales y mejorar el procesamiento. En confites de grasa continua, como los chocolates, los emulsificantes proveen control de viscosidad, influyen la cristalización de grasa y actúan como inhibidores de Bloom, moderando las transformaciones polimorfas de la fase lipídica (Weyland, 2008). Se ha encontrado que usando conjuntamente la lecitina con otros emulsificantes como el Poliglicerol poliricinoleato (PGPR) tienen un efecto sinérgico en la reducción de viscosidad (Schantz, 2005).

El componente clave para la funcionalidad de la lecitina se denomina *fosfatidicolina*. Métodos analíticos indican que esta sustancia varía apreciablemente en la lecitina natural (Fig 1), principalmente en los ácidos grasos R y R1, los cuales pueden ser cualquiera de los mayores ácidos grasos (palmítico, esteárico, oleico, linoleico o linolénico).

*Figura 1. Estructura química de la Lecitina*

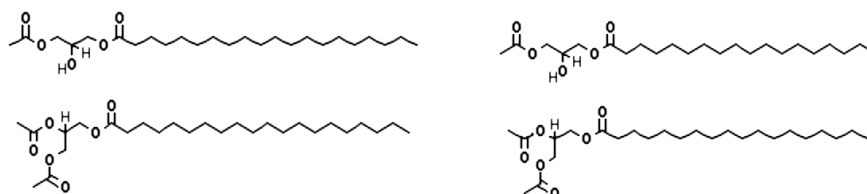


La lecitina se encuentra naturalmente en todos los seres vivos, animales y vegetales, encontrando el mayor contenido en la yema de huevo (8-10%). El aceite de soya posee la principal y más económica fuente de lecitina vegetal con un rendimiento del 2.5%. Es por este motivo que se ha popularizado mucho la producción de especies de soya genéticamente modificadas (GMO), cultivadas y procesadas principalmente en Norte y Sur América. Dado que algunas legislaciones como la europea han impulsado el uso de ingredientes elaborados a partir de plantas no genéticamente modificadas se está incrementando el uso de lecitinas a partir de otras fuentes tales como girasol o canola (Van Nieuwenhuysen, 2003).

#### *5.2.2.2. Monoglicéridos Acetilados (MGA)*

Los **monoglicéridos acetilados (MGA)** son emulsificantes elaborado por la interesterificación de grasas comestibles en presencia de catalizadores o por la acetilación directa de monoglicéridos con ácido acético sin el uso de catálisis (Fig 2). Se caracterizan por un punto de fusión exacto, estabilidad a la rancidez oxidativa, formación de películas, estabilización y propiedades lubricantes. Son utilizados, al igual que la lecitina, para aportar cualidades texturales a los productos. Se utilizaron primero como aditivos para plásticos de modo que pudieran ser utilizados con aplicaciones en alimentos. Al ser aplicados en goma de mascar, los MGA se ubican entre las cadenas del polímero, mejorando el deslizamiento de los mismos aumentando la suavidad y extensibilidad de la goma base.

Figura 2. Estructura química de los Monoglicéridos Acetilados



Tienen poca actividad emulsificante, pero hay muchas características que aportan en la textura: permite expandirse más de 8 veces con la tensión; son aceites muy estables cuyo valor de peróxido no incrementa ni siquiera cuando son calentados a 97.7°C por 1000 horas; es un líquido caracterizado por ser poco oleoso incluso a bajas temperaturas y ser usado como solvente y plastificante para el acetato de polivinilo (PVA).

#### 5.2.2.3. Agua

El **agua** es el plastificante más efectivo, reduciendo la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y la resistencia mecánica, determinando un efecto ablandador con el incremento de su concentración. El estado físico de la matriz amorfa puede cambiar de sólido vítreo a gomoso cuando la temperatura de transición vítrea es alcanzada. Cuando la matriz es completamente amorfa se afecta principalmente la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), pero cuando la matriz es parcialmente cristalina, como en algunas gomas de mascar, se afecta además de la temperatura de fundición ( $T_m$ ). El agua es un acentuador del movimiento, lo que significa que su bajo peso molecular ayuda a incrementar en gran medida el movimiento de las partículas, reduciendo la viscosidad de la matriz con el aumento de la humedad (Slade, 2005; Pittia, 2008).

Sin embargo, se observa un efecto opuesto en algunos alimentos con bajos rangos de humedad y actividad de agua, refiriéndose a un efecto anti-plastificante. Durante el estudio de alimentos amorfos se ha encontrado una ocurrencia simultánea de plastificación y anti-plastificación por efecto del agua, aún en diferentes rangos de actividad de agua y los resultados de estudios en matrices amorfas sugieren un efecto importante de la interacción agua-matriz en las propiedades texturales. El efecto anti-plastificante de la humedad es más evidente en muestras de alta densidad con valores bajos de agua libre y es menos pronunciado en muestras con baja densidad. Esto confirma que el estado del agua juega un rol fundamental en la determinación del efecto de plastificación (Pittia, 2008).

Otros emulsificantes como los mono y di-glicéridos, lacto palmitato de glicerilo, monoestearato de sorbitan, triglicerol monoestearato y Polisorbatos 60, 65 y 80, también pueden ser utilizados en goma de mascar para dar una textura adecuada y mejorar las propiedades anti-adhesivas (Weyland, 2008).

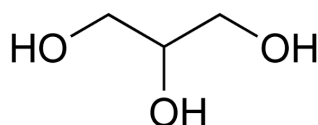
#### 5.2.3. Humectantes

Los **humectantes** son aquellos ingredientes que ayudan a mantener la goma base en estado gomoso (evitan que se vuelva quebradiza) conservando la humedad y flexibilidad de la goma, ayudan al azúcar (sacarosa) a combinarse fácilmente con la goma base, previenen el crecimiento de cristales de azúcar, evitando una textura granulosa. Los humectantes más utilizados en goma de mascar son la glucosa y la glicerina. La *glucosa* (figura 3) es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, pues es fuente primaria de la síntesis de

energía de las células. Es un monosacárido ( $C_6H_{12}O_6$ ) que se puede encontrar libremente en las frutas y la miel, aunque la glucosa usada en la formulación de goma de mascar, usualmente aplicado entre un 5 y 15%, es elaborada a partir de almidón de maíz por medio de hidrólisis ácida o enzimática y viene en forma jarabe (jarabe de maíz) (Welti-Chanes, 2008). La glucosa está clasificada como edulcorante, sin embargo dentro de la formulación de la goma de mascar cumple principalmente una función de humectación.

La *glicerina* ( $C_3H_8O_3$ ) se obtiene como subproducto de la saponificación de grasas (animales o vegetales), de la transesterificación de triglicéridos (producción de biodiesel) o sintéticamente como subproducto del propileno. Sabores, colores y otros ingredientes tienen limitada solubilidad en la glicerina. Es usada en goma de mascar como humectante y suavizante usualmente en un nivel de 2 a 3% (Meiners, 1984; Minifie, 1999).

Figura 3. Estructura química de la glicerina



#### 5.2.4. Edulcorantes

Los **edulcorantes** son los ingredientes que brindan a la goma de mascar el sabor dulce característico. Pueden ser naturales o artificiales.

##### 5.2.4.1. Sacarosa

El edulcorante natural más empleado en la industria es la *sacarosa* o más comúnmente conocido como *azúcar*, obtenido principalmente a partir de la cristalización del jugo purificado de caña de azúcar (20% peso) o de remolacha azucarera (15% peso). La sacarosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) es un disacárido formado por una molécula de glucosa (alfa-glucopiranos) y fructosa (beta-fructofuranosa). En formulación, la sacarosa es considerada un ingrediente de ajuste o de relleno, utilizado como *comodín* dentro de la formulación; esto quiere decir que con la modificación de los demás ingredientes, incremento o reducción de acuerdo a la necesidad del producto, el porcentaje de azúcar es ajustado para completar 100%. El poder edulcorante (o dulzura relativa) de la sacarosa es alto (Figura 4) y se ha tomado como punto de comparación de los demás edulcorantes ya sean naturales o artificiales (Welti-Chanes, 2008). La determinación de la dulzura relativa de un edulcorante se realiza en un laboratorio por medio de dilución del ingrediente analizado comparándolo con una dilución de sacarosa al 15%.

Debido a que en las últimas décadas se ha popularizado el hecho que el consumo excesivo de sacarosa puede causar problemas de salud tales como obesidad, diabetes o caries dental, se han desarrollado formulaciones de goma de mascar utilizando sustitutos del azúcar que hoy en día superan ya la producción con azúcar. El sustituto más empleado es el *sorbitol*. Otros edulcorantes usualmente empleados en la fabricación de goma de mascar son *aspartame*, *acesulfame*, *xilitol*, *manitol* y recientemente *stevia* y *sucralosa*.

##### 5.2.4.2. Sorbitol

El sorbitol es un monosacárido fabricado a partir de la hidrogenación de la glucosa y es

empleado como edulcorante en los alimentos dietéticos o *sin azúcar*. Se le califica como edulcorante no nutritivo porque cada gramo contiene 2,4 calorías, bastante menos que las 4 de la sacarosa o el almidón. En la industria se emplea además como humectante para mantener diversos productos con un grado de humedad apropiado (alimentos, fármacos y productos químicos). La dulzura relativa del sorbitol es 0.6 respecto al azúcar, por lo tanto se requiere una cantidad mayor de sorbitol para obtener el mismo sabor dulce que la sacarosa.

#### 5.2.4.3. *Aspartame y Acesulfame-K*

El *aspartame* es un edulcorante artificial no calórico descubierto en 1965 y comercializado desde los años ochenta, que actualmente es utilizado en la formulación de numerosos alimentos en todo el mundo. Es estable cuando se encuentra seco o congelado, pero se descompone y pierde su poder edulcorante con el transcurso del tiempo, cuando se conserva en líquidos a temperaturas superiores a 30 °C. La dulzura relativa del aspartame es de 150 a 200 comparado con la sacarosa.

El *Acesulfame-K* es un edulcorante artificial con una estructura química relativamente sencilla, descubierto casi por azar en 1967. Es aproximadamente 200 veces más dulce que el azúcar, con una gran estabilidad ante los tratamientos tecnológicos y durante el almacenamiento. La duración de la sensación dulce es mayor cuando se usa este ingrediente en lugar del azúcar.

Se ha descubierto que el aspartame y el acesulfame-K tienen un efecto de sinergia, lo que significa que son más eficientes en su poder edulcorante al usarlos mezclados que si se usan por separado.

#### 5.2.4.4. *Otros Edulcorantes: Xylitol, Manitol, Rebaudiosa, Sucralosa*

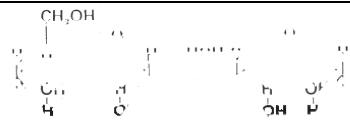
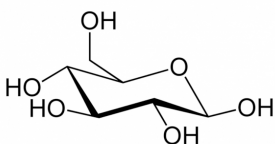
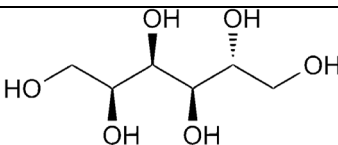
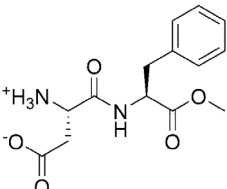
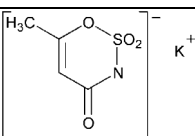
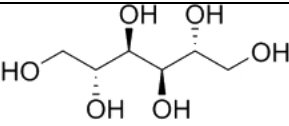
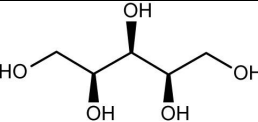
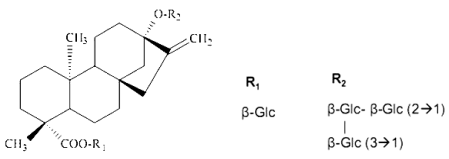
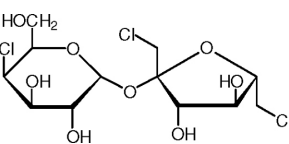
El *Xylitol* es un monosacárido (pentosa), el cual es utilizado principalmente por sus propiedades criostáticas y por su efecto enfriante y es tan dulce como la sacarosa. Por estas razones, ha sido utilizado principalmente en productos de cuidado personal, goma de mascar y mentas. Adicionalmente se le atribuyen propiedades bactericidas y antibióticas, por lo cual es comúnmente promocionado en chicles sin azúcar para cuidado oral.

El *Manitol* es el poliol más viejo producido comercialmente, limitado a su uso por su efecto laxante (20 gramos/día). Debido a su baja solubilidad y por ser no higroscópico, es usado como para mejorar el procesamiento de diferentes productos. Por su alto punto de fusión (165 a 169 °C) es usado en cubiertas de chocolate para helados y confitería.

La *Rebaudiosa* o *Rebaudioside A* o más conocido como *Stevia*, es un componente de origen natural que se extrae de la *Stevia Rebaudiana*, planta originaria de Paraguay. Su poder edulcorante es 200 veces mayor al azúcar, pero sin los efectos tan contraproducentes que ésta produce en el organismo humano.

La *Sucralosa*, conocida comercialmente como *Splenda* y aprobada por la FDA en 1998, es un derivado de la sacarosa y es 600 veces más dulce que el azúcar. La sucralosa es estable al calor y ha encontrado amplia aprobación en el mercado “natural” debido a que se fabrica por síntesis química a partir del azúcar.

Figura 4. Comparación de diferentes ingredientes edulcorantes

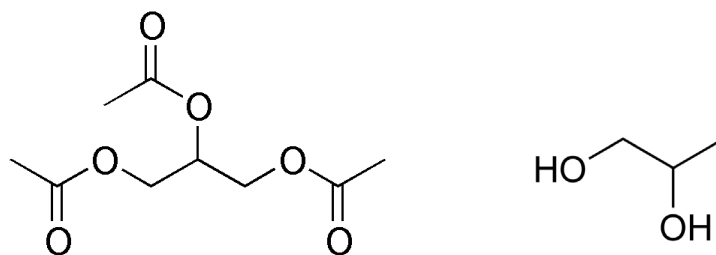
Nombre	Estructura Química	Dulzura relativa	Funcionalidad
Sacarosa		1	Ingrediente de relleno para gomas de mascar con azúcar. Fuente natural.
Glucosa		0.7	Humectante. Fuente natural.
Sorbitol		0.6	Ingrediente de relleno para gomas de mascar sin azúcar
Aspartame		200	Bajo costo, buena sinergia con el Acesulfame-K, larga duración
Acesulfame-K		200	Bajo costo, buena sinergia con el Aspartame, larga duración
Manitol		0.5	Baja higroscopicidad
Xylitol		1	Beneficios dentales, efecto frío
Rebaudioside A		400	Fuente natural (Stevia Rebaudiana)
Sucralosa		600	Perfil limpio, larga duración



### 5.2.5. Saborizantes

Los **saborizantes** son aquellos componentes naturales, artificiales o mezclas que aportan el sabor deseado y pueden ser derivados de cetonas, ésteres, aldehídos o aceites esenciales. Además de su tarea de dar sabor, los saborizantes actúan también como suavizantes de la goma base afectando la textura del chicle: los sabores naturales generalmente contienen aceites esenciales, que son considerados como los mejores plastificantes de la goma base (Welti-Chanes, 2008) y en la mayoría de los casos se utilizan solventes para mejorar la solubilidad y controlar la liberación de los componentes aromáticos durante la masticación. Entre los solventes más empleados se encuentran la *triacetina* y el *propilenglicol*, los cuales tienen efectos plastificantes en la goma de mascar.

Figura 5. Estructura química de la Triacetina (izq) y Propilenglicol (der)



### 5.2.6. Otros Ingredientes

**Ácidos:** los ácidos empleados en la formulación de la goma de mascar son ácidos orgánicos que se encuentran normalmente en las frutas, tales como el ácido cítrico, málico, tartárico y fumárico. Cada ácido tiene una intensidad y perfil ácido diferente, de modo que su uso depende del sabor que se esté formulando.

**Colorantes:** aunque no es una regla, la mayoría de las gomas de mascar tienen colorantes para conseguir llamar la atención de los consumidores. Estos colorantes pueden ser naturales o artificiales. Entre los colorantes naturales se encuentran de origen vegetal como el annato (bixina),  $\beta$ -Caroteno, Clorofila y de origen animal como el Carmín. Entre los colorantes artificiales más empleados está el Amarillo No. 5, Azul No. 1 y Rojo No. 40. Es posible realizar mezclas entre los diferentes colorantes con el fin de conseguir la tonalidad deseada, que depende del sabor de la formulación.

**Ingredientes Funcionales:** en algunos casos se han empleado ingredientes para dar propiedades funcionales a la goma de mascar, de modo que no sea simplemente un alimento de placer, sino para cumplir alguna tarea en el consumidor. Ejemplos de estos ingredientes son la cafeína que se puede emplear en gomas de mascar energizantes, extractos naturales como té verde, eucaliptol para cumplir tareas medicinales, nicotina que se adiciona en gomas de mascar para dejar el hábito de fumar o bicarbonato de sodio empleado para blanqueamiento dental, entre otros.

### 5.3. Textura y Reología del Chicle

El conocimiento de la reología es fundamental para asegurar no solo parámetros sensoriales sino también de procesamiento. Es claro que existe una influencia de los diferentes ingredientes del alimento en la reología, por lo tanto el conocimiento del efecto de la formulación y proporción de aditivos es fundamental para obtener éxito en la manufactura y comercialización del alimento (Afoakwa, 2007). La reología del chicle o determinación de textura instrumental, se puede relacionar con otros materiales poliméricos tales como látex o caucho, a los cuales se les hacen también evaluaciones de textura (Sombatsompop, 2001).

#### 5.3.1. Dureza (Shore)

Un método de medición de **dureza** específicamente para materiales elastoméricos fué definida por *Albert F. Shore*, quien desarrolló un durómetro en 1920, el cual consiste de un resorte calibrado que genera una fuerza conocida en una aguja, en forma consistente y sin choques, la cual provoca la penetración de la aguja en el material a evaluar. El durómetro análogo mide la dureza por determinación de la profundidad de penetración de la aguja y la representa en una escala análoga (Figura 6). Esta profundidad es dependiente de la dureza del material, sus propiedades viscoelásticas, la forma de la aguja y el tiempo de la prueba. La mayoría de materiales se resisten a una penetración inicial pero eventualmente se produce con el tiempo debido a la relajación (fluencia), de modo que las lecturas de los durómetros pueden ser tomadas instantáneamente o después de un tiempo específico. Las mediciones instantáneas típicamente dan resultados más altos (más duros) que las lecturas después de un tiempo. Sin embargo, las lecturas posteriores son más representativas de la dureza y resiliencia. Materiales débiles, menos elastoméricos tienen mayor fluencia que materiales más duros o resilientes (Mohamed, 2003).

Figura 6. Durómetro Análogo tipo A (Shore).

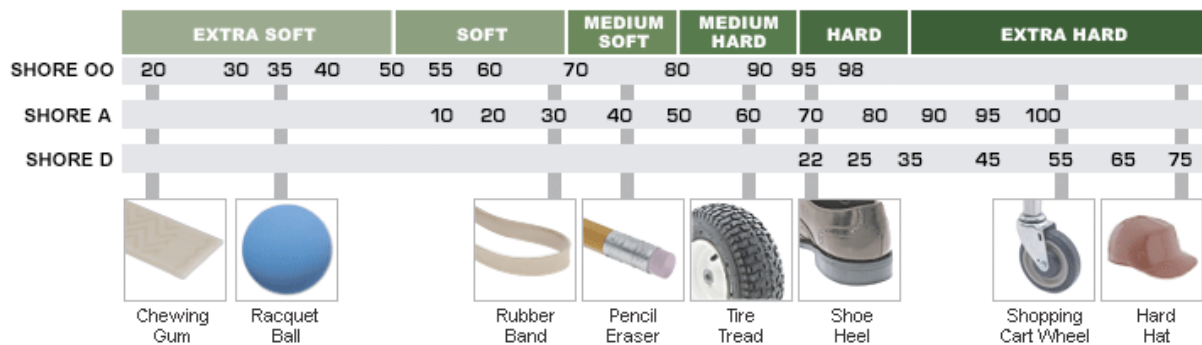


Hay diferentes escalas de dureza, usadas para materiales con diferentes propiedades. Las dos escalas más comunes, usando los diferentes sistemas de medición, son la ASTM D2240 escalas tipo A y tipo D. La escala A es para plásticos suaves, mientras que la escala tipo D es para duros. Sin embargo, el estándar ASTM D2240-00 tiene un total de 12 escalas dependiendo del uso: A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S y R. Cada una tiene una escala entre 1 y 100 con los valores más altos representando mayores durezas de material. Aunque este valor de dureza no tiene unidades relacionadas directamente con el sistema internacional (SI) se ha asignado la unidad **Shore** para calificar esta variable en este tipo de equipos, en honor a su creador.

En el caso de goma de mascar (dependiendo del caso) se pueden utilizar durómetros con escala Shore A o OO. El durómetro Shore A se utiliza generalmente para medición de dureza

en aquellas gomas de mascar que requieren un nivel alto de esta variable como por ejemplo antes del proceso de cobertura; están compuestos por con una aguja de acero de 1.1 mm-1.4 mm de diámetro con un cono truncado de 35° con un diámetro de 0.79 mm. El material bajo estudio debe tener un mínimo de 6.4 mm de espesor, una masa aplicada de 0.822 kg y una fuerza del resorte resultante de 8.064 N. El valor final de la dureza depende de la profundidad de la aguja luego que se ha aplicado por 15 segundos sobre el material. Si la aguja penetra 2.54 mm (0.1 pulgadas) o más en el material, la dureza tendrá un valor de 0 Shores. Si no penetra para nada, la dureza será 100 Shores. El durómetro Shore OO se utiliza para la medición de dureza de gomas de mascar e inflar que tienen bajos niveles de dureza. En la Figura 7 se presentan las escalas de los durometros Shore OO, A y D con los valores de dureza encontrados para diferentes materiales.

Figura 7. Escalas de durómetros Shore para diferentes materiales.



### 5.3.2. Prueba de Relajación

Una de las pruebas más importantes para la caracterización de las propiedades viscoelásticas de la goma de mascar es la prueba de **relajación** (Hassan, 2005). La relajación puede ser descrita como la habilidad de un material a aliviar un esfuerzo impuesto bajo condiciones de tensión constante. La relajación puede ser conducida mediante corte, tensión uniaxial o compresión uniaxial y es ejecutada en un texturómetro convencional. En esta prueba, una deformación constante es aplicada a la muestra y se mide el esfuerzo durante el tiempo.

El **modelo generalizado de Maxwell** (Ec. 1) se ha usado frecuentemente para interpretar la relajación de datos de esfuerzo de un material viscoelástico lineal. El modelo contiene  $n$  elementos de Maxwell y un resorte en paralelo; cada elemento consistiendo de un amortiguador en serie. El modelo generalizado puede ser escrito como:

$$\sigma(t) = \sum_{i=1}^n C_i \left( e^{-t/\tau_i} \right) + \sigma_e \quad (\text{Ecuacion 1})$$

donde:

$C_i$  es la constante de relajación del elemento  $i$  (kPa)

$\tau_i$  es el tiempo de relajación y se define por  $\tau_i = (\eta_i / E_i)$

$E_i$  es el módulo de elasticidad del elemento  $i$  (kPa) y se define por  $E_i = C_i / \varepsilon$

$\eta_i$  es la viscosidad del elemento  $i$  (kPa s)

$\sigma_e$  es el esfuerzo de equilibrio.

$\varepsilon$  es la deformación ejercida sobre el material (generalmente 8%).

Otro modelo que se aplica exitosamente a materiales orgánicos es el **modelo de Peleg** (Ec. 2) ajustado a ecuación lineal (Peleg & Normand, 1983):

$$\frac{\sigma_0 t}{\sigma_0 - \sigma(t)} = k_1 + k_2 t \quad (\text{Ecuacion 2})$$

donde  $\sigma(t)$  es el esfuerzo que se reduce con el tiempo,  $\sigma_0$  es el esfuerzo inicial y  $k_1$  y  $k_2$  son constantes. El recíproco  $k_1$  representa la tasa de decrecimiento inicial, mientras que  $k_2$  es un valor hipotético de la fuerza asintótica normalizada (Steffe, 1996).

Un incremento en el valor de  $k_2$  significa que el elemento elástico de la muestra está incrementándose. En general si  $1/k_2=0$  significa que la muestra es puramente elástica y no hay relajación. La reducción  $1/k_1$  indica el incremento en la resistencia a la deformación elástica. Un incremento en el valor de  $k_1$  representa la reducción en la resistencia de la deformación elástica de la muestra (Jaya, 2005).

### 5.3.3. Análisis de Perfil de Textura

El **Análisis de Perfil de Textura (TPA)** fue el primer estudio de textura realizado en alimentos y fue conducido por Szczesniak en General Foods (ahora Kraft Foods) en los 1960s. Por primera vez se estableció un vínculo directo entre las propiedades mecánicas de un alimento y su perfil de textura. Usando un texturómetro se demostró que la curva fuerza-desplazamiento obtenida de un test de doble compresión daba una interpretación significativa de un número de aspectos texturales: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad, adhesividad, fragilidad, masticabilidad y gomosidad (Chen, 2009).

Figura 8. Gráfico tiempo vs Fuerza para el análisis TPA

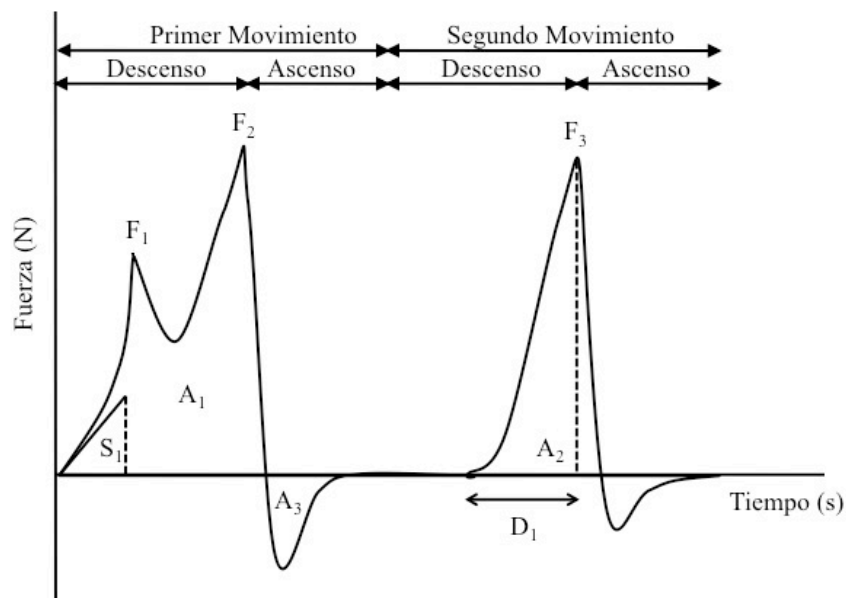


Tabla 1. Definiciones Instrumentales para los Parámetros de Textura TPA.

Nomenclatura	Parámetro	Definición Instrumental	Unidades
F	Fracturabilidad	$F_1$	N
D	Dureza	$F_2$	N
C	Cohesividad	$A_2/A_1$	Adimensional
A	Adhesividad	$A_3$ (Fuerza vs Deformación)	mJ
E	Elasticidad	$D_1$	mm
G	Gomosidad	$Dureza \times Cohesividad = F_2 \times A_2 / A_1$	N
M	Masticabilidad	$Dureza \times Cohesividad \times Elasticidad = F_2 \times A_2 / A_1 \times D_1$	N.mm
MD	Modulo de Deformabilidad	$S_1$ (Fuerza vs Deformación)	N/s

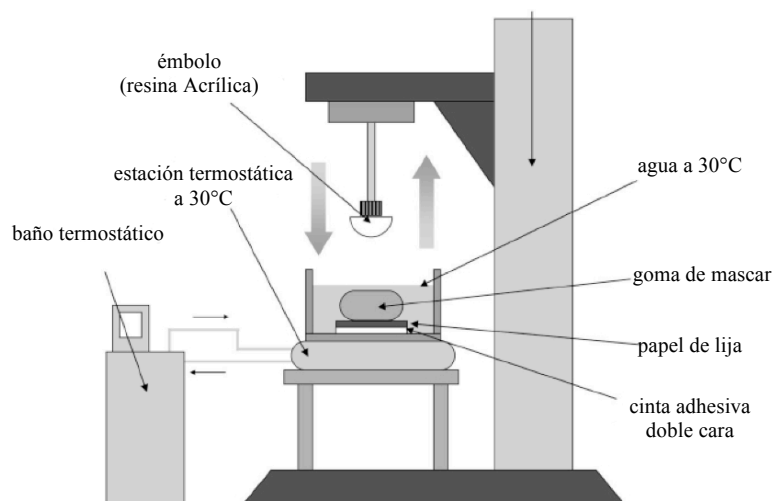
En la Figura 8 se muestra la curva tiempo vs fuerza para TPA y en la Tabla 1 se presentan las definiciones instrumentales para los diferentes parámetros de textura. El objetivo de esta prueba es simular o imitar los ciclos de masticación de un alimento, o el corte y rebanado en un proceso de manufactura industrial. Los resultados de estas pruebas son normalmente comparados con las análisis organolépticos que son llevados a cabo por panelistas entrenados, demostrando buena correlación en los resultados (Kealy, 2006).

#### 5.3.4. Prueba de Adhesividad Shakanoshita

Durante el proceso masticatorio hay muchas condiciones que se deben tener en cuenta para realizar un análisis completo tales como la temperatura de la saliva dentro de la cavidad bucal, la velocidad y tiempo de masticación.

Un método específico para medición de **Adhesividad de goma de mascar** fue desarrollado por Shakanoshita en los Laboratorios Centrales de Lotte Co Ltda basado en la metodología TPA de Szczesniak y Bourne Friedman, donde se tuvieron en cuenta otras condiciones como la temperatura de saliva dentro de la boca, la velocidad y el tiempo de masticación, según la investigación de Nakazawa, Kawano y Arisumi (Shakanoshita, 2006)

Figura 9. Preparación de la Medida de Adhesividad en Goma de Mascar



En esta metodología un émbolo de resina acrílica en forma hemisférica con un diámetro de 20 mm elaborado a partir de materiales cerámicos utilizados comúnmente en prótesis dentales es

ajustado a un texturómetro. La goma de mascar es acondicionada a un tamaño específico (0.8 g) y es sumergida en un baño termostático a 30°C para someterse al proceso de “masticación artificial” con una velocidad del émbolo de 16 m/s (Figura 9). En el momento de máxima compresión se realiza un sostenimiento de 1.0 segundo. La medición de adhesividad se produce en el momento en el que se retira el émbolo de la goma de mascar a 16 m/s, produciendo una fuerza para desprenderse del material. Para la regulación de la temperatura se utiliza un año de maría con un sistema de regulación de la temperatura por recirculación.

Sakanoshita, buscó analizar el comportamiento del chicle en la masticación media, es decir cuando la mayor parte del azúcar se ha diluido en la saliva. Para ello, previa la evaluación de la adhesividad se procedió retirar la sacarosa amasando el chicle durante 10 minutos mientras se encuentra sumergido en agua a una temperatura de 40°C.

Al ser este método basado en la técnica TPA, el cálculo de la adhesividad es igualmente basado en el área bajo la curva negativa (tiempo vs fuerza) que se ocasiona al retirar el émbolo (Ver figura 8 y Tabla 1).

#### 5.3.5. *Análisis sensorial de la Textura*

La percepción de textura es un factor importante en la apreciación sensorial del consumidor. Esto determina la identidad del alimento. La textura también se relaciona como la razón de gusto de un alimento. Recientemente se ha renovado el interés por entender la relación entre la textura percibida y la estructura del alimento (Wilkinson, 2000). Sherman (1973) estableció un vínculo entre las propiedades reológicas y la percepción sensorial para un amplio rango de materiales alimenticios (viscosidad entre 1 mPa.s y 10 Pa.s) usando aproximación subjetiva (panelistas) y objetiva (viscosímetro) y produciendo una curva maestra de deformación de alimentos durante procesamiento oral (Chen, 2009).

La **textura** percibida desde el punto de vista sensorial es el atributo de una sustancia que se obtiene como resultado de la combinación de propiedades físicas y percibidas por los sentidos del tacto (incluyendo cinestesia y sensación de boca), vista y oído. Cinestesia es la percepción de los músculos de su posición y movimiento. Existen tres tipos de receptores propioceptivos: receptores de articulaciones, husos musculares, receptores de tendones. Los receptores de articulaciones proveen la información propioceptiva más importante y vienen en tres tipos como los sentidos de la piel, receptores monitores de la posición y movimientos manipulables y de la lengua (Wilkinson, 2000). En la Tabla 2 se encuentra la comparación de la definición física de cada variable, así como su definición y forma de evaluación sensorial (Szczeniak, 2002).

Para el análisis de estas y otras variables se utiliza una metodología denominada **QDA** (Quantitative Descriptive Analysis) en la cual un grupo de panelistas entrenados asigna un valor numérico a cada variable analizada según su intensidad (Lawless, 2003).

Con los diferentes cambios en la textura de la goma de mascar se pueden presentar alteraciones en la percepción de intensidad y duración de los sabores, por lo que la metodología QDA es una herramienta poderosa para cuantificar esos cambios. Sin embargo, si lo que se desea es determinar diferencias entre un patrón y un tratamiento, se pueden realizar pruebas de discriminación como la prueba de *Diferenciación Simple*, *Duo-Trio* y *Round Table* (Lawless, 2003).

*Tabla 2. Definición Física y Sensorial de los parámetros texturales*

<b>Variable</b>	<b>Definición Física</b>	<b>Definición Sensorial</b>
Dureza	Fuerza necesaria para lograr una deformación dada.	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los dientes molares (en el caso de sólidos) o entre la lengua y el paladar (en el caso de semi-sólidos)
Cohesividad	Se aplica sólo para sólidos y se define como el tamaño de fragmento al cual un material puede ser deformado antes de romperse.	Corresponde al grado en el cual el material es comprimido entre los dientes antes que se rompa.
Viscosidad	Se define como la oposición que ofrece un material a fluir al aplicarse una fuerza.	Fuerza requerida para drenar un líquido de una cuchara sobre la lengua.
Elasticidad	Es la rata a la cual un material deformado recupera su condición inicial luego que la fuerza es removida.	Se califica como el grado en el que un producto retorna a su forma original una vez se ha comprimido entre los dientes.
Adhesividad	Es el trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los cuales el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para remover el material que se ha adherido al paladar con la ayuda de la lengua.

## 6. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 6.1. Materias Primas y Formulación Preliminar

Los materiales para fabricar la goma de mascar se encuentran en la Tabla 3, junto con el rango de aplicación probable en la goma de mascar. Debido a que durante los experimentos solamente se modificarán los niveles en los ingredientes texturizantes, se deben fijar los valores de los otros ingredientes mediante una experimentación previa, de modo que se consiga una buena consistencia de la goma de mascar, así como un buen perfil e intensidad de sabor, que servirán como base para calificar los cambios que sucedan posteriormente.

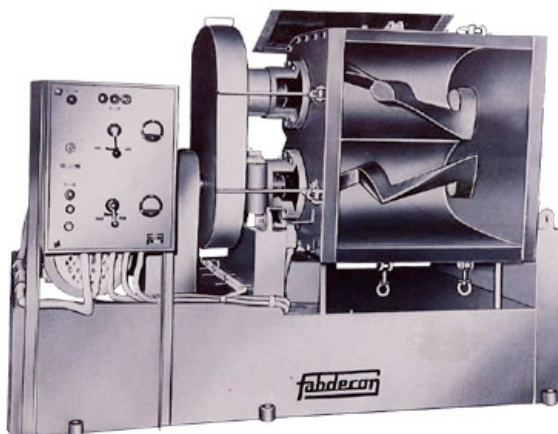
*Tabla 3. Materias Primas y rangos para la formulación preliminar*

Material	Rango (%)
Azúcar Pulverizada	60.0 – 80.0
Goma Base	18.0 – 25.0
Glucosa	9.0 – 12.0
Acido Cítrico	1.0 – 2.0
Sabor Frutal	0.5 – 2.0

### 6.2. Fabricación de la goma de mascar

La goma de mascar se prepara mediante la mezcla de los diferentes ingredientes en un mezclador de aspas doble sigma (Figura 10) marca *Fabdecon* con una capacidad de 3.0 kg, durante 20 minutos. La goma base debe adicionarse fundida a una temperatura de  $85 \pm 10$  °C, la glucosa y el azúcar deben estar a  $45 \pm 10$  °C, los demás ingredientes pueden adicionarse a temperatura ambiente  $25 \pm 5$  °C. La temperatura de la goma al final del proceso debe estar en  $55 \pm 5$  °C y la humedad en  $2.5 \pm 1.0$  % (por secado).

*Figura 10. Mezclador doble sigma para goma de mascar.*

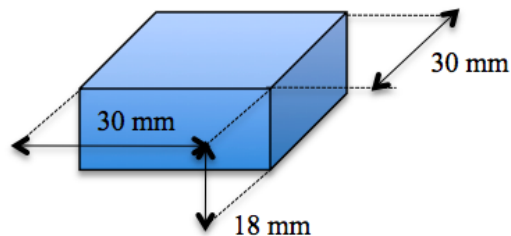




### 6.3. Preparación de la Muestra

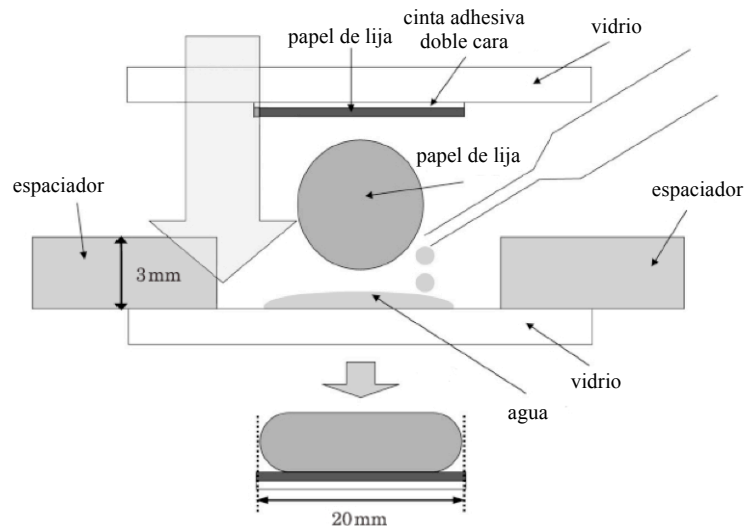
6.3.1. *Fase 1:* Para realizar las pruebas de dureza, TPA y Relajación, la masa obtenida de goma de mascar en el proceso de mezclado, se procede a homogenizar con un rodillo de cocina y posteriormente se cortan y forman las muestras con unas dimensiones de 30 x 30 x 18 mm cada una (Figura 11).

Figura 11. Geometría y Tamaño de la muestra para Análisis TPA y Relajación



6.3.2. *Fase 2:* Para la preparación de la muestra en el caso de la medición de adhesividad de materiales dentales, se aplicará el método de Shakanoshita (2006), en el cual para el troquelado de la muestra se utiliza agua a modo de humectar las paredes de la goma de mascar (Figura 12). La muestra deberá ser de  $2.0 \pm 0.1$  g, con una altura de 3 mm un diámetro de 20 mm.

Figura 12. Elementos y Proceso de preparación de la muestra para el método Shakanoshita



### 6.4. Medición de Dureza (Shore)

Para la medición de la dureza por el sistema Shore se utilizará un durómetro tipo A ASTM D2240, especializado para materiales poliméricos (Figuras 6 y 7). La muestra deberá estar preparada según se describe en el punto 6.3.1 y acondicionada a condiciones de Humedad y Temperatura de  $60 \pm 5$  % y  $20 \pm 3$  °C durante 24 horas. La muestra se ubica en la parte inferior del durómetro y se deja caer la aguja. La medición de la dureza se tomará a los 20 segundos luego de que la aguja toca la superficie de la goma. Esta medición se realizará por triplicado.

### **6.5. Prueba Relajación**

Para la realización de la prueba de Relajación se utilizará un texturómetro Shimadzu EZ Test con un émbolo de 30 mm de diámetro (Figura 13). La muestra deberá prepararse de acuerdo al punto 6.3.2. La compresión se realizará a una velocidad de 50 mm/min, para una deformación de 1.2 mm (8%) durante 250 segundos.

### **6.6. Análisis TPA**

Para la medición de los parámetros de textura por medio de TPA se utilizará un texturómetro Shimadzu EZ Test con un émbolo de 30 mm de diámetro (Figura 13). La compresión se realizará a una velocidad tanto de bajada como de subida de 25 mm/min y una deformación de 2 mm. La muestra deberá prepararse de acuerdo al punto 6.3.1.

*Figura 13. Sistema Experimental para Medición de TPA y Relajación*



### **6.7. Prueba de Adhesividad (Método Shakanoshita)**

En esta metodología se utilizará una punta de resina acrílica en forma hemisférica con un diámetro de 20 mm, la cual deberá ser ajustada al émbolo metálico del texturómetro. La goma de mascar deberá ser acondicionada a un peso de 0.8 g, tal como se menciona en el método 6.3.2 y será luego sumergida en agua a una temperatura constante de 30°C ubicando en el fondo una lámina de papel lija de 20×20 mm adherido con cinta doble faz. En este caso se reemplaza el baño termostático por una secuencia de calentamiento y medición con la ayuda de un horno microondas en el cual se calienta el agua sólo cuando es necesario durante 10 segundos y se toma la temperatura con el fin de asegurar que siempre se encuentra entre 29-31°C antes de iniciar la prueba.

Para el proceso de “masticación artificial” se ejecuta sólo el primer movimiento (primera mordida) de TPA con una velocidad del émbolo de 16 m/s (Figura 14) y se realiza un sostenimiento de 1.0 segundo en el momento de máxima compresión. La medición de adhesividad se produce en el momento en el que se retira el émbolo de la goma de mascar a 16 m/s, produciendo una fuerza para desprenderse del material. Se debe asegurar para cada

*Figura 14. Sistema Experimental para Medición de Adhesividad Método Shakanoshita*



medición que la punta del émbolo se encuentra completamente limpia (libre de chicle) antes de iniciar otra medición. Una variación de la Metodología Shakanoshita para analizar la adhesividad al metal se realiza reemplazando el émbolo por una punta metálica (acero inoxidable), la cual simula la adhesividad a los metales utilizados para trabajos dentales.

#### **6.8. Análisis Sensorial**

Se realizarán pruebas de discriminación empleando el método de **Diferenciación Simple**, en la cual se presentan dos muestras a un panel de 10 personas y se les pregunta si considera las muestras iguales o diferentes. En el caso que identifiquen una diferencia, se les pregunta a que corresponde esa diferencia, siendo libre su respuesta. La evaluación se realiza con un 95% de confianza, lo que implica que para la identificación de la diferencia deben haber acertado 7 de 10 panelistas.

Adicionalmente se realizará el método del **Round Table** en el cual cada panelista mastica las muestras presentadas aleatoriamente por un lapso de 3 minutos cada una, tomando nota individual de cada evaluación y posteriormente se genera una discusión para opinar sobre las muestras. Con esta evaluación se busca obtener la percepción general hacia las muestras evaluadas comparado con el patrón (incluyendo sabor, textura, etc). Estas evaluaciones serán realizadas con un panel de 10 personas específicamente entrenadas para este objetivo.

## 7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los experimentos se realizarán en tres etapas:

### 7.1. Diseño Etapa 1: Caracterización y Preselección

En esta primera etapa el objetivo es realizar la caracterización de la goma de mascar antes de masticar por medio de un diseño Factorial  $2^4$  donde se varíen cada uno de los texturizantes seleccionados en dos niveles (Tabla 4), a modo de observar tendencias y seleccionar los dos (2) ingredientes que más aportan en la reducción de la adhesividad (determinada por medio de TPA) y comparando el comportamiento de las variables de textura que se obtienen de las pruebas de Relajación, TPA y Durómetro Shore.

Tabla 4. Diseño factorial  $2^4$  para la Etapa 1.

Factores	Niveles	Variables de Respuesta
Lecitina (L)	L1 L2	<i>1. Prueba de relajación:</i> Parámetros de relajación mediante modelos de Maxwell y Peleg. <i>2. Analisis de perfil de Textura (TPA):</i> dureza, fracturabilidad, cohesividad, adhesividad, masticabilidad, elasticidad, gomosis, módulo de deformabilidad. <i>3. Durómetro Análogo:</i> Dureza en grados Shores.
Monoglicéridos Acetilados (MGA)	MGA1 MGA2	
Agua (H)	H1 H2	
Talco (T)	T1 T2	

### 7.2. Diseño Etapa 2: Optimización

En esta segunda etapa se caracterizará la adhesividad de la goma de mascar durante el proceso de masticación y se tendrán como base los resultados obtenidos en la Etapa 1, donde se han seleccionado los dos (2) ingredientes influyen en mayor medida la reducción de la adhesividad. Se iniciará esta etapa con una búsqueda de tendencia por medio del análisis de la máxima pendiente (Tabla 5) y posteriormente se realizará un diseño Central Compuesto (Tabla 6) para analizar la superficie de respuesta de la Adhesividad al variar los ingredientes seleccionados.

#### 7.2.1. Análisis de Máxima Pendiente

En esta etapa el objetivo es ubicar el mejor punto para iniciar el diseño central compuesto usando la metodología de Shakanoshita con Resina Acrílica y su variación con Metal. Para esto se analizarán los datos de la etapa 1 con el fin de determinar el punto de máxima pendiente, donde se realizará un diseño factorial  $2^2$  (Tabla 5) utilizando como factores los dos ingredientes seleccionados en la Etapa 1, como aquellos que mayormente influyen la reducción en la adhesividad y se volverá a analizar el nuevo punto de máxima pendiente. En éste último se realizará el diseño Central Compuesto final.

Tabla 5. Diseño factorial 2<sup>2</sup>, Metodo de la Máxima Pendiente para la Etapa 2

Factores	Niveles	Variables de Respuesta
Ingrediente A	A-1 A-2	1. Método Shakanoshita: Adhesividad y Dureza.
Ingrediente B	B-1 B-2	

### 7.2.2. Diseño Central Compuesto

En esta etapa el objetivo es realizar un análisis de superficie de respuesta utilizando los dos ingredientes seleccionados en la primera etapa en el punto seleccionado luego del análisis de dos puntos de máxima pendiente mediante la Metodología de Shakanoshita. Las variables de respuesta serán la Adhesividad y Dureza.

Tabla 6. Diseño Central Compuesto para la Etapa 2.

	Ingrediente B				
	B1	B2	B3	B4	B5
Ingrediente A	A 1		X		
	A 2	X		X	
	A 3	X	X		X
	A 4	X		X	
	A 5		X		

### 7.3. Diseño Etapa 3: Análisis Sensorial.

Aquellas formulaciones seleccionadas como mejores en la prueba de *Shakanoshita* se evaluarán mediante un análisis sensorial con el fin de determinar si hay diferencias significativas en cuanto a adhesividad y percepción general respecto la muestra patrón (formula preliminar) por medio de los métodos de *Diferenciación Simple* y *Round Table*, como se describe en el punto 6.7.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Pruebas Preliminares

#### 8.1.1. Formulación Preliminar

Para definir la formula preliminar se tomó el modelo de la *Tabla 3*, en el cual se hicieron pruebas con diferentes sabores y modificaciones en los ingredientes base hasta conseguir una buena consistencia de la goma de mascar, así como un buen perfil e intensidad de sabor. El sabor frutal seleccionado fue *Morazul*, debido a que es de los que más pegajosidad presentó a los equipos de mezclado durante su manufactura. En esta formulación se incluyó la *glicerina* para dar mayor estabilidad a la masa durante la formación de goma: sin el uso de *glicerina* la goma queda muy quebradiza y difícil de formar debido a la textura aportada por el sabor seleccionado. Adicionalmente se decidió reducir el tamaño de lote de 3 a 2 kg, con el fin de reducir los costos de las pruebas. La *primera* formula preliminar seleccionada se presenta en la *Tabla 7 (FP1)*.

*Tabla 7. Formulación Preliminar #1 (FP1)*

Material	Porcentaje (%)	Peso (g)
Azúcar Blanca pulverizada	63.20	1264.0
Goma Base	19.90	398.0
Glucosa	13.93	278.6
Acido Cítrico	1.49	29.8
Sabor Frutal	0.99	19.8
Glicerina	0.49	9.8
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>2000.0</b>

En esta fórmula preliminar se buscaba que todos los ingredientes fueran fundamentales y tuvieran un impacto importante en la textura de la goma. El único ingrediente que teóricamente no realiza aportes en textura es el ácido cítrico. Para comprobar esta hipótesis, se realizó una segunda fórmula preliminar. El objetivo de la segunda formulación es eliminar el ácido de la formulación para reducir los costos de los ensayos, actividades adicionales de pesaje, identificación y evitar un inventario innecesario. En la *Tabla 8* se presenta la formulación preliminar #2 (FP2).

*Tabla 8. Formulación Preliminar #2 (FP2)*

Material	Porcentaje (%)	Peso (g)
Azúcar Blanca pulverizada	64.69	1293.8
Goma Base	19.90	398.0
Glucosa	13.93	278.6
Sabor Frutal	0.99	19.8
Glicerina	0.49	9.8
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>2000.0</b>

Para decidir cual de las dos formulaciones se utilizaría se realizó una prueba de textura (TPA), analizando los resultados para verificar si existe una diferencia significativa o no entre ellos. Si la diferencia fuera significativa, la formula seleccionada sería la FP1 dado que una formulación real siempre llevaría ácido; en el caso que las diferencias no fueran significativas,

la formula seleccionada sería la FP2, que tiene varias ventajas anteriormente mencionadas. Para la definición de los niveles para los diferentes Factores (ingredientes texturizantes) en la Etapa 1, se realizaron pruebas donde se determinaron los siguientes rangos de trabajo:

*Tabla 9. Definición de Rangos para los Factores en la Etapa 1*

<b>Factor (Ingrediente Texturizante)</b>	<b>Nivel Inferior (%)</b>	<b>Nivel Superior (%)</b>
Talco (T)	0.0	5.0
Monoglicéridos Acetilados (MGA)	0.0	2.0
Lecitina (L)	0.0	1.0
Agua (H)	0.0	1.0

### *8.1.2. Pruebas Preliminares de TPA*

Para facilitar las pruebas y obtener resultados más visibles y válidos desde el punto de vista teórico se decidió cambiar el tamaño de muestra para las diferentes pruebas respecto a lo presentado en el anteproyecto. En el caso de análisis de TPA, se preparó una lámina de goma de 18 mm de espesor con la ayuda de un rodillo y se formaron bloques de 30 x 30 mm (Figura 14) por medio de un cortador de disco (usado generalmente para cortar pizza).

Se detectó que el uso de talco evita la pegajosidad de la goma al émbolo, lo que reduce la medición de la adhesividad real por formulación (no presenta curva negativa) y se decidió eliminar en esta prueba. Para eliminar los rastros de talco o polvo de azúcar en la superficie de la goma, la muestra se limpió con un paño húmedo, se secó con una toalla de cocina y se dejó terminar de secar al aire libre durante 15 minutos previo a la medición TPA.

Para la medición de los parámetros de textura por medio de TPA se utilizó el mismo texturómetro de la prueba de relajación. El émbolo empleado fue de 30 mm de diámetro. La compresión se realizó a una velocidad tanto de bajada como de subida de 25 mm/min y una deformación de 2 mm.

En estas pruebas se detectó que la goma de mascar tuvo una alta adhesividad a la superficie del émbolo, dado que se tendía a quedar pegado a la superficie durante el movimiento ascendente. Con el fin de evitar esta situación, se aplicó la recomendación de Shakanoshita (2006) y se utilizó Papel Lija CAR25-P120 adherido a la base con cinta doble faz, tal como lo muestra la Figura 13.

### *8.1.3. Pruebas Preliminares de Relajación*

Para realizar la prueba de relajación se utilizó un texturómetro Shimadzu EZ Test con un émbolo de 30 mm de diámetro. Las muestras fueron elaboradas con unas dimensiones de 30 x 30 x 15 mm de la misma forma como se mencionó anteriormente para TPA. La compresión se realizó a una velocidad de 50 mm/min hasta un desplazamiento de 1.2 mm para una deformación de 8% y se mantuvo en esta posición durante 250 segundos. Los datos del cambio en la fuerza a través del tiempo fueron detectados por el texturómetro y se tabularon y analizaron posteriormente.

#### 8.1.4. Prueba Preliminar de Dureza

Para la medición de la dureza por el sistema Shore se utilizó un durómetro tipo A ASTM D2240, especializado para materiales poliméricos (Figuras 6 y 7). La muestra fué acondicionada a condiciones de Humedad y Temperatura de  $60 \pm 5 \%$  y  $20 \pm 3 ^\circ\text{C}$  durante 24 horas antes de la medición. Para la medición se ubicó la muestra en la parte inferior del durómetro y se deja caer la aguja, tomando 20 segundos para hacer la lectura de la dureza. Esta medición se realizó por triplicado.

#### 8.1.5. Resultados y Conclusiones de las pruebas preliminares

Los resultados de adhesividad de las formulas FP1 y FP2 se presentan en la *Tabla 10*, para 3 réplicas.

*Tabla 10. Resultados de Adhesividad en las Formulas FP1 y FP2*

FP1	FP2
16.2625	5.875
20.6081	7.135
22.1488	35.1025

Con el fin de determinar si las muestras son iguales o no estadísticamente, se analizaron los datos en Minitab, obteniendo los siguientes resultados:

Source	DF	SS	MS	F	P
Formula	1	20	20	0.14	0.727
Error	4	565	141		
Total	5	584			

S = 11.88    R-Sq = 3.39%    R-Sq(adj) = 0.00%

Con el valor de P mayor a 0.05 se concluye que las muestras no tienen diferencias significativas, a pesar de una aparente diferencia con los primeros valores de FP2, debido a la alta desviación que existe entre las muestras. Con esto se concluye que se puede eliminar el ácido de la fórmula, y la base para los experimentos será FP2.



## 8.2. Etapa 1: Caracterización y Preselección

### 8.2.1. Diseño Experimental

En esta primera etapa el objetivo fué realizar la caracterización de la goma antes de masticar por medio de un diseño Factorial  $2^4$  donde se variaron cada uno de los texturizantes seleccionados en dos niveles. En la *Tabla 11* se presenta la codificación de los valores reales (porcentaje) para cada nivel ejecutado. La *Tabla 12* presenta la aleatorización de las corridas que se realizó por medio de Minitab, con los dos niveles codificados para cada factor.

*Tabla 11. Codificación de los niveles para cada Factor*

Factor	Nivel Codificado ( $X_i$ )	Porcentaje en Formula (%)	Codificación
Lecitina (L)	-1	0.0	$X_L = 4 \times L - 1$
	1	0.5	
Monoglicéridos Acetilados (MGA)	-1	0.0	$X_{MGA} = 5 \times MGA - 1$
	1	0.4	
Agua (H)	-1	0.0	$X_H = 10 \times H - 1$
	1	0.2	
Talco (T)	-1	0.0	$X_T = T - 1$
	1	2.0	

*Tabla 12. Diseño factorial  $2^4$  para la Etapa 1.*

Corrida	Tratamiento	Replica	Lecitina (L)	MGA	Agua (H)	Talco (T)
1	3	2	-1	-1	1	-1
2	1	1	-1	-1	-1	-1
3	2	2	-1	1	-1	-1
4	13	2	1	-1	-1	1
5	15	2	1	-1	1	1
6	6	2	-1	1	-1	1
7	11	2	1	-1	1	-1
8	10	2	1	1	-1	-1
9	8	2	-1	1	1	1
10	6	1	-1	1	-1	1
11	8	1	-1	1	1	1
12	2	1	-1	1	-1	-1
13	16	2	1	1	1	1
14	13	1	1	-1	-1	1
15	12	2	1	1	1	-1
16	1	2	-1	-1	-1	-1
17	14	1	1	1	-1	1
18	7	1	-1	-1	1	1
19	4	1	-1	1	1	-1
20	16	1	1	1	1	1
21	7	2	-1	-1	1	1
22	4	2	-1	1	1	-1
23	9	2	1	-1	-1	-1
24	11	1	1	-1	1	-1
25	5	2	-1	-1	-1	1
26	12	1	1	1	1	-1
27	3	1	-1	-1	1	-1
28	10	1	1	1	-1	-1
29	9	1	1	-1	-1	-1
30	15	1	1	-1	1	1
31	5	1	-1	-1	-1	1
32	14	2	1	1	-1	1

### 8.2.2. Resultados TPA

En el *Anexo 1* se presentan las curvas *Fuerza vs Tiempo* obtenidas durante la prueba TPA para los diferentes tratamientos comparándolos con la formula preliminar (Tratamiento 1). Se observa en estas gráficas que hubo curvas bastante diferentes a la formula preliminar, específicamente los tratamientos 4, 7, 8 y 15 se observan con picos de dureza mucho menores al control. Estos mismos tratamientos se observan con curvas negativas de menor intensidad (relacionado con la adhesividad), lo que sugiere que hay una relación entre la dureza y la adhesividad.

*Tabla 13. Resultados de la prueba TPA para la Etapa 1*

Corrida	Tratamiento	Replica	F	D	C	A	E	G	M	MD
2	1	1	0	247.263	0.616	17.522	1.465	152.149	224.464	14.972
16	1	2	0	157.700	0.552	9.521	1.522	86.892	132.471	19.437
12	2	1	0	220.425	0.752	31.083	1.912	164.847	315.160	17.900
3	2	2	0	215.992	0.609	21.978	1.767	131.305	232.732	16.432
27	3	1	0	98.400	0.653	26.008	1.843	64.040	118.024	14.554
1	3	2	0	198.175	0.568	8.800	1.585	112.574	179.215	20.449
19	4	1	0	66.892	0.581	5.466	1.481	38.647	57.703	5.844
22	4	2	0	61.883	0.536	6.019	1.687	33.124	56.828	8.178
31	5	1	0	181.892	0.611	25.225	1.821	109.953	200.788	24.265
25	5	2	0	154.217	0.660	39.719	1.795	101.830	183.736	20.211
10	6	1	0	175.050	0.590	19.846	1.856	103.087	191.323	16.671
6	6	2	0	244.813	0.535	15.726	1.342	130.978	176.286	19.237
18	7	1	0	103.767	0.694	14.663	1.581	72.214	113.025	9.904
21	7	2	0	74.113	0.462	4.797	1.275	34.215	43.666	17.111
11	8	1	0	117.219	0.604	12.529	1.789	70.907	127.429	8.267
9	8	2	0	64.958	0.655	6.260	1.929	42.389	81.848	7.495
29	9	1	0	119.458	0.667	20.754	1.893	79.421	150.348	6.071
23	9	2	0	156.888	0.520	12.150	1.545	81.110	124.426	30.227
28	10	1	0	74.417	0.650	15.654	1.644	48.876	82.856	8.462
8	10	2	0	238.525	0.582	21.582	1.828	136.300	249.580	15.598
24	11	1	0	74.200	0.812	24.636	1.896	59.769	113.339	17.557
7	11	2	0	200.488	0.574	7.000	1.456	114.400	168.489	13.706
26	12	1	0	63.967	0.678	17.455	1.894	44.322	84.065	10.596
15	12	2	0	103.638	0.544	6.638	1.445	56.393	81.919	10.093
14	13	1	0	206.533	0.555	9.690	1.275	114.357	145.744	13.067
4	13	2	0	244.350	0.621	24.511	1.441	152.264	224.985	11.290
17	14	1	0	200.408	0.577	19.579	1.629	113.401	181.453	24.547
32	14	2	0	99.988	0.617	14.873	1.777	58.424	100.952	15.341
30	15	1	0	73.342	0.687	15.671	1.816	50.645	92.053	6.869
5	15	2	0	160.163	0.669	15.845	1.569	108.072	173.878	12.440
20	16	1	0	74.925	0.550	4.905	1.295	41.159	53.316	11.731
13	16	2	0	185.800	0.554	20.177	1.801	103.018	185.187	19.826

*F=Fracturabilidad (N), D=Dureza (N), C=Cohesividad (adimensional), A=Adhesividad (mJ), E=Elasticidad (mm), G=Gomosidad (N), M=Masticabilidad (N-mm), MD=Módulo de deformabilidad (N/s)*

Para el análisis de los datos, se emplearon las definiciones presentadas en la *Tabla 1*. Para la determinación de las áreas se utilizó el programa Matlab con el algoritmo “*polyarea(x,y)*”, que analiza el área bajo la curva de un juego de datos uniendo cada punto como un polígono. Los resultados para las variables fracturabilidad (F), dureza (D), cohesividad (C), adhesividad (A), elasticidad (E), gomosis (G), masticabilidad (M) y módulo de deformabilidad (MD) se presentan en la *Tabla 13*. Realizando el análisis de los datos presentados en la *Tabla 13* por medio del programa *Minitab*, se obtuvieron los siguientes resultados:

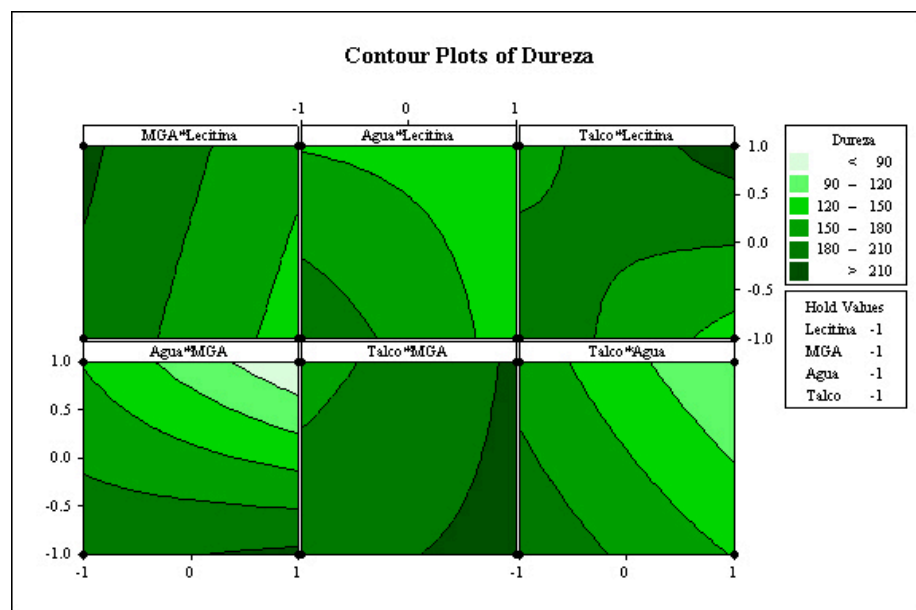
#### 8.2.2.1. Fracturabilidad (F)

En ninguna de las muestras se registró *Fracturabilidad*. Esto se debe a que la superficie es suave y no se tenía ninguna capa crocante que pudiera romperse. Por lo tanto, no se analizarán los resultados para esta variable.

#### 8.2.2.2. Dureza (D)

Los resultados numéricos para efectos, coeficientes y ANOVA de los datos de dureza se encuentran consignados en el *Anexo 2*, junto con los gráficos de residuales y efectos estandarizados, en los cuales se concluye que el uso del *Agua* tiene un efecto significativo sobre la dureza de la goma ( $P=0.002$ ). Los otros ingredientes no tuvieron efectos significativos. Las interacciones no fueron significativas pero se resaltan la interacción *MGA-Agua* ( $P=0.211$ ) y *Lecitina-Agua* ( $P=0.232$ ).

Figura 14. Gráficos de Contorno para la Dureza



En la figura 14 se presentan los gráficos de contorno para la Dureza. Estos gráficos soportan el resultado de significancia del agua sobre la dureza: al aumentar el contenido de *Agua*, se reduce la dureza. De la misma forma se observan tendencias de los otros ingredientes sobre la dureza: ésta se reduce al reducir *MGA*, aumentar el *Talco* y aumentar la *Lecitina*. La correlación de la *Dureza (D)* dependiente del nivel de *Agua (H)* se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 2:

$$D(N) = 145.7 - 38.08 X_H$$

$$D(N) = 145.7 - 38.08 \times (10 H - 1)$$

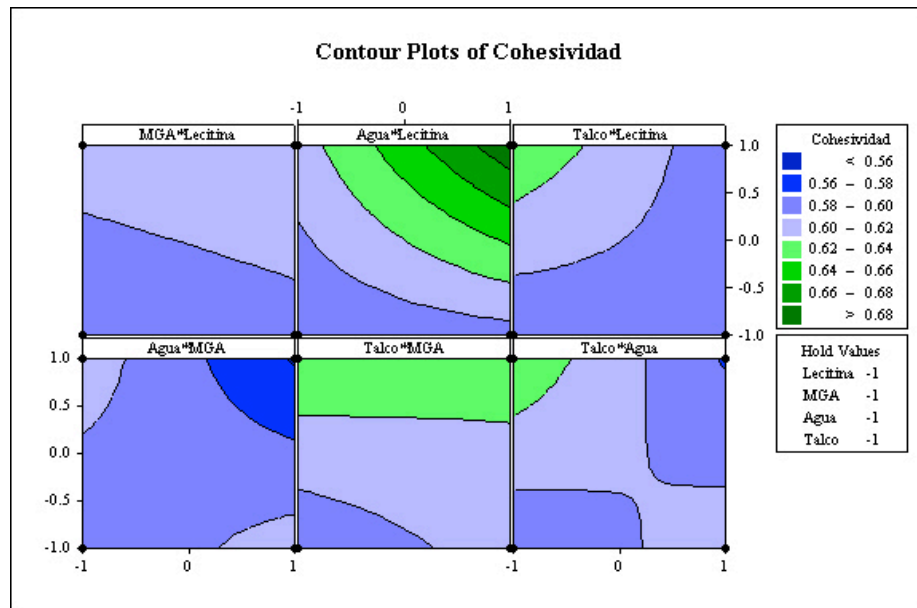
$$D(N) = 145.7 + 38.08 - 380.8 H$$

$$D(N) = 183.78 - 380.8 H \quad (\text{Ecuación 3})$$

#### 8.2.2.3. Cohesividad (C)

Los resultados numéricos para efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para Cohesividad se presentan en el *Anexo 3*. No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los factores evaluados sobre la cohesividad, sin embargo se destacan la interacción *MGA-Agua* ( $P=0.313$ ), *Lecitina-MGA-Agua* ( $P=0.374$ ) y *Lecitina-Agua* ( $P=0.388$ ).

Figura 16. Gráficos de Contorno para Cohesividad

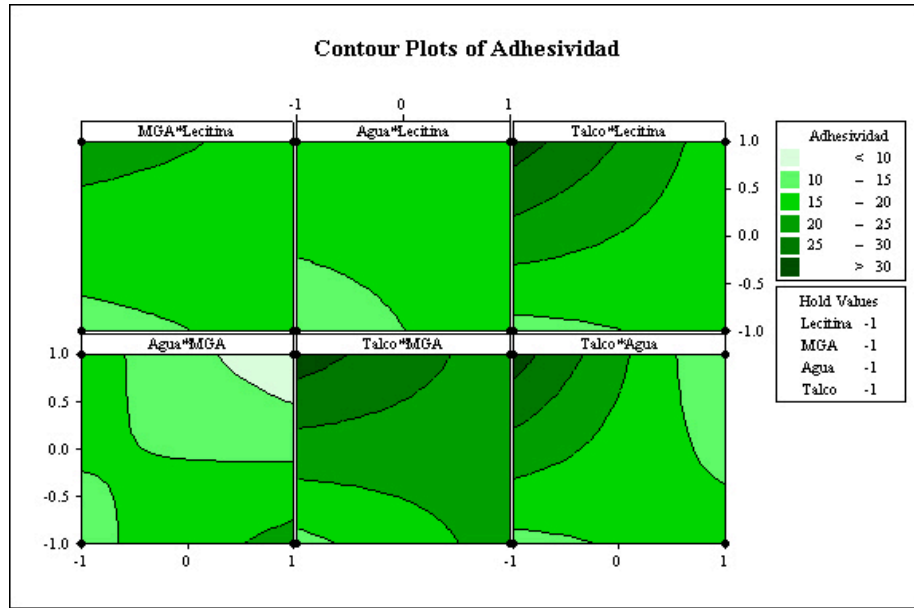


La figura 16 presenta los gráficos de contorno de Cohesividad de la goma. Se observa una tendencia de aumentar la cohesividad al aumentar el *Agua*, el *Talco* y la interacción *Agua-Lecitina*, lo que soporta los comentarios del análisis del ANOVA.

#### 8.2.2.4. Adhesividad (A)

Se presentan los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para *Adhesividad* en el *Anexo 4*. Se encontró un efecto significativo del *Agua* sobre la adhesividad de la goma de mascar ( $P=0.016$ ), de modo que a medida que se incrementa la humedad se reduce la adhesividad. No se encontraron efectos significativos de los otros ingredientes, pero se destacan la interacción *Lecitina-Agua* ( $P=0.145$ ) y *MGA-Agua-Talco* ( $P=0.169$ ).

Figura 17. Gráficos de contorno para Adhesividad



La figura 17 presenta los gráficos de contorno de Adhesividad de la goma. Se observa una tendencia de reducir la adhesividad al aumentar el agua y reducir el talco. Se observan igualmente interacciones entre *Agua-Talco* y *Agua-MGA* importantes, aunque no fueron identificadas como significativas, ayudando en ambos casos a reducir la adhesividad. La correlación de la *Adhesividad (A)* dependiente del nivel de *Agua (H)* se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 4:

$$A (mJ) = 16.126 - 3.822 \times X_H$$

$$A (mJ) = 16.126 - 3.822 \times (10 H - 1)$$

$$A (mJ) = 16.126 + 3.822 - 38.22 H$$

$$A (mJ) = 19.948 - 38.22 H \quad (\text{Ecuación 4})$$

#### 8.2.2.5. Elasticidad (E)

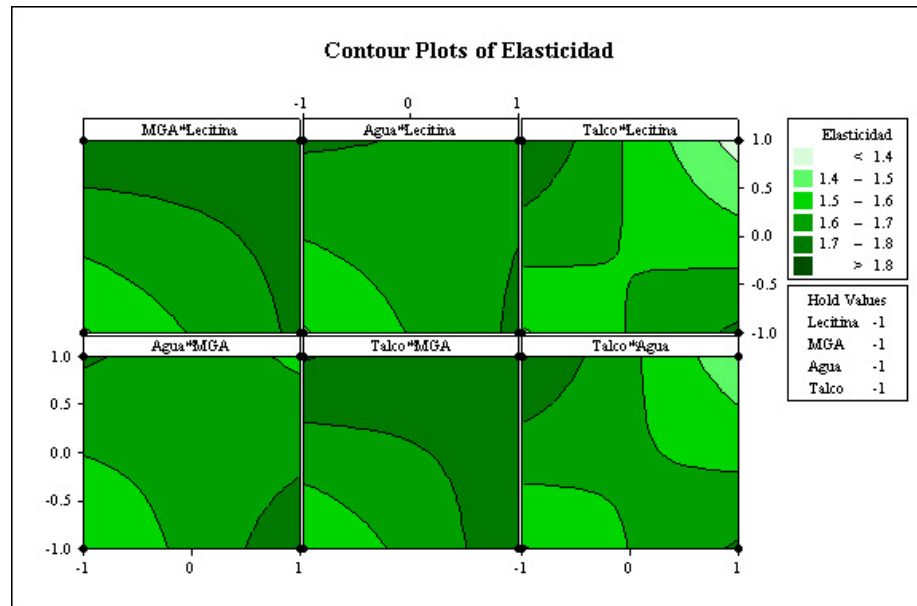
Se presentan los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para *Elasticidad* en el Anexo 5. Se encontró un efecto significativo de la interacción entre *Agua-Lecitina-MGA-Talco* ( $P=0.041$ ) sobre la elasticidad de la goma de mascar. No se encontraron otros efectos significativos, aunque se destacan la interacción *Lecitina-Talco* ( $P=0.260$ ) y *MGA* ( $P=0.298$ ).

En la figura 18 presentan los gráficos de contorno de Elasticidad de la goma. Se observa una tendencia de aumentar la elasticidad con el incremento de *MGA*, *Lecitina*, *Talco* y *Agua*. La correlación de la *Elasticidad (E)* dependiente de la interacción *Agua-Talco-Lecitina-MGA* se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 5:

$$E (mm) = 1.65368 - 0.08782 \times X_L \times X_{MGA} \times X_H \times X_T$$

$$E (mm) = 1.65368 - 0.08782 \times (4 L - 1) \times (5 MGA - 1) \times (10 H - 1) \times (T - 1) \quad (\text{Ecuación 5})$$

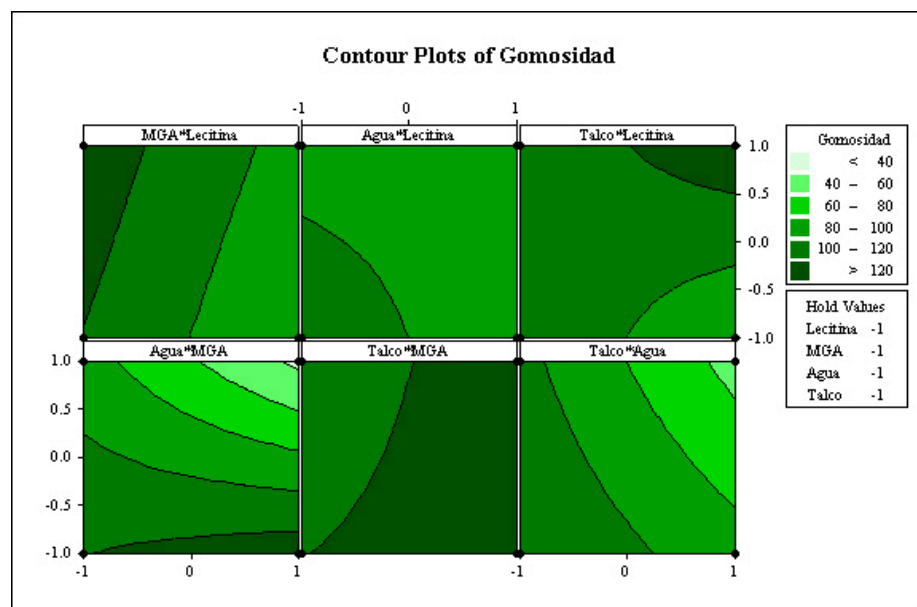
Figura 18. Gráficos de Contorno para Elasticidad



#### 8.2.2.6. Gomosidad (G)

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para *Gomosidad* son presentados en el *Anexo 6*. Se encontró un efecto significativo del *Agua* ( $P=0.002$ ) sobre la Gomosidad de la goma de mascar. No se encontraron efectos significativos de los otros factores, aunque se destacan las interacciones

Figura 19. Gráficos de Contorno para Gomosidad



*Lecitina-Agua* ( $P=0.131$ ) y *MGA-Agua-Talco* ( $P=0.194$ ). En la figura 19 se observan los gráficos de contorno para la gomosidad. Se observa una tendencia en reducir la gomosidad

con el aumento de Lecitina y Agua. La correlación de la *Gomosidad* ( $G$ ) dependiente del *Agua* ( $H$ ) se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 6:

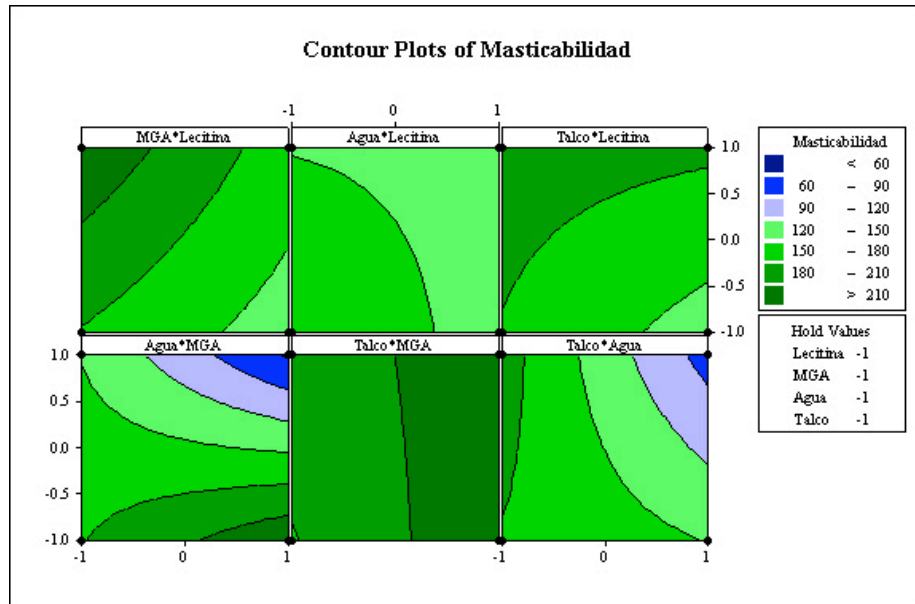
$$\begin{aligned} G(N) &= 87.79 - 22.43 \times X_H \\ G(N) &= 87.79 - 22.43 \times (10H - 1) \\ G(N) &= 87.79 + 22.43 - 224.3H \end{aligned}$$

$$G(N) = 110.22 - 224.3H \quad (\text{Ecuación 6})$$

#### 8.2.2.7. Masticabilidad ( $M$ )

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para *Masticabilidad* son presentados en el Anexo 7. Se encontró un efecto significativo del *Agua* sobre la Masticabilidad de la goma de mascar. No se encontraron efectos significativos de los otros factores, aunque se destacan las interacciones *Lecitina-Agua* ( $P=0.109$ ), *MGA-Agua-Talco* ( $P=0.155$ ) y *MGA-Agua* ( $P=0.233$ ).

Figura 20. Gráficos de Contorno para Masticabilidad



La figura 20 presenta los gráficos de contorno para Masticabilidad. Se observa una tendencia de reducir masticabilidad con el aumento de *Lecitina*, *Agua* y reducción de *Talco* y *MGA*. La correlación de la Masticabilidad dependiente del agua se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 7:

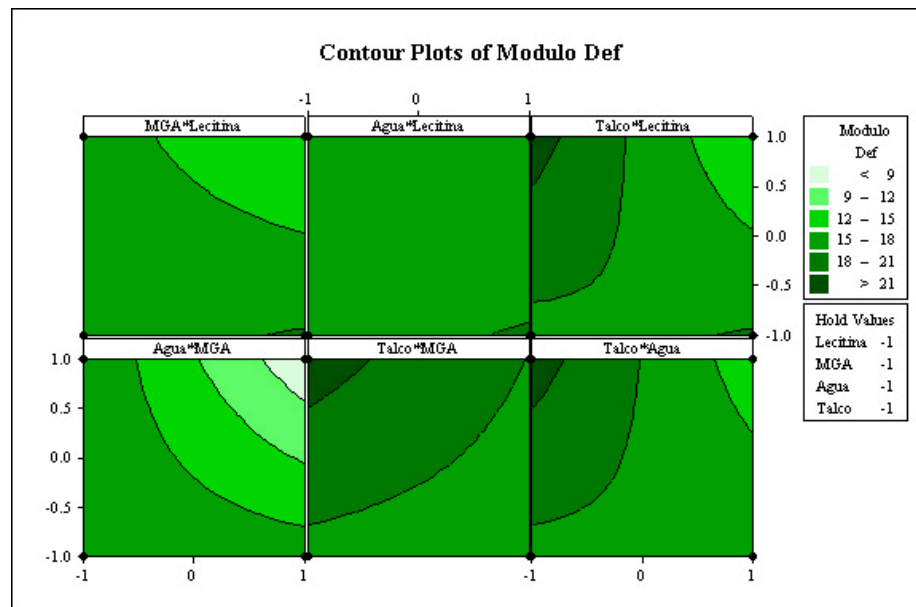
$$\begin{aligned} M(N.mm) &= 145.39 - 37.26 \times X_H \\ M(N.mm) &= 145.39 - 37.26 \times (10H - 1) \\ M(N.mm) &= 145.39 + 37.26 - 372.6H \end{aligned}$$

$$M(N.mm) = 182.65 - 372.6H \quad (\text{Ecuación 7})$$

#### 8.2.2.8. Modulo de Deformación (MD)

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para *Modulo de Deformación* son presentados en el Anexo 8. Se encontró un efecto significativo del *Agua* sobre el Módulo de Deformación de la goma de mascar. No se encontraron efectos significativos de los otros factores, aunque se destacan las interacciones *MGA-Talco* ( $P=0.113$ ), *Lecitina-MGA-Talco* ( $P=0.151$ ) y *Lecitina-MGA* ( $P=0.156$ ).

Figura 21. Gráficos de Contorno para Módulo de Deformación



La figura 21 presenta los gráficos de contorno para Módulo de Deformación. Se observa una tendencia de incrementar el módulo con la reducción de Agua y MGA y con el aumento de Talco. La lecitina parece no tener mayor incidencia en el módulo. La correlación del Módulo de Deformación dependiente del agua se puede representar como sigue, utilizando los coeficientes del Anexo 8:

$$MD (N/s) = 14.589 - 2.425 \times X_H$$

$$MD (N/s) = 14.589 - 2.425 \times (10 H - 1)$$

$$MD (N/s) = 14.589 + 2.425 - 24.25 H$$

$$MD (N/s) = 17.014 - 24.25 H \quad (\text{Ecuación 8})$$



### 8.2.2.9. Análisis y Conclusiones Prueba TPA:

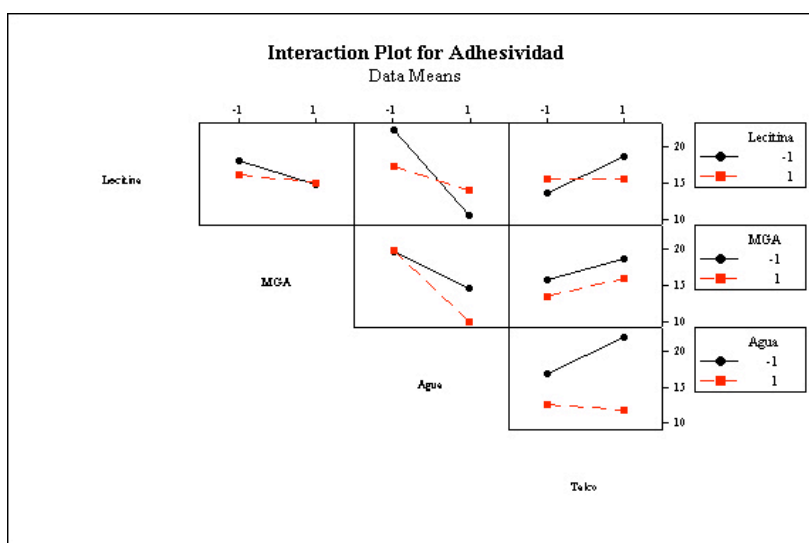
Se puede concluir con la prueba TPA que el *Agua* es el factor o ingrediente que afecta significativamente a más variables: Dureza, Adhesividad, Gomosidad, Masticabilidad y Módulo de Deformación. Ninguno de los demás ingredientes individuales tuvo efecto significativo sobre estas variables, aunque se encontró una interacción significativa entre Agua-MGA-Lecitina-Talco en la Elasticidad. Se destacan como importantes, aunque no significativos los efectos de MGA en Elasticidad y las interacciones MGA-Agua (para Masticabilidad y Cohesividad), Lecitina-Agua (para Masticabilidad, gomosidad, adhesividad, cohesividad y dureza) y MGA-Agua-Talco (para masticabilidad, gomosidad, adhesividad y dureza).

En cuanto a la *Adhesividad*, que es la variable principal de esta investigación, sólo presentó efectos significativos con el uso de *Agua*. Sin embargo y dado que el proyecto requiere la selección de un segundo ingrediente, se analizaron por separado cada uno de los demás junto con sus interacciones con el agua.

Tabla 14. Valor P para los diferentes ingredientes en Adhesividad

Ingrediente/Interacción	Valor P Efecto individual	Coefficiente
Lecitina	0.765	-0.431
Lecitina-Agua	0.145	2.168
MGA	0.427	-1.156
MGA-Agua	0.403	-1.217
Talco	0.521	0.929
Talco-Agua	0.345	-1.377

Figura 22. Gráfico de Interacciones para Adhesividad



La tabla 14 presenta los valores P y coeficientes del efecto para los demás ingredientes individuales y su interacción con el agua. Dado que los valores P son valores mayores a 0.05, se consideran que no son significativos, sin embargo el segundo ingrediente en importancia para la adhesividad es aquel que tenga los menores valores de P y su coeficiente de efecto sea negativo (reduzcan la adhesividad).

Analizando la Tabla 14, el menor valor P es para la interacción *Lecitina-Agua*, sin embargo su coeficiente es positivo lo que significa que al aumentar lecitina se perjudica la reducción de adhesividad del agua y se trabajaría en contravía al objetivo de esta investigación. En el caso del Talco, éste tiene un efecto individual de incremento de adhesividad en el efecto individual que, al igual que la Lecitina, no es deseado. Con esto, el mejor factor adicional para trabajar en la siguiente etapa es MGA, pues individualmente y en interacción con el agua tienen efectos de reducción de la adhesividad. En la Figura 22 se pueden verificar las interacciones entre el Agua y los demás ingredientes.

Con esta información se procede a seleccionar MGA como segundo ingrediente para acompañar al Agua durante los análisis de la Etapa 2.

### 8.2.3. Resultados Relajación

La prueba de Relajación se realizó alterna a la Prueba TPA, con los mismos tratamientos y muestras. En el *Anexo 9* se presentan las curvas *Fuerza vs Tiempo* para los diferentes tratamientos siendo comparados con la formula preliminar (Tratamiento 1), las cuales fueron obtenidas por triplicado. Se observa que la mayoría de los tratamientos tuvo un esfuerzo de equilibrio por debajo de la formula preliminar, con excepción del Tratamiento 13 que fue superior y los tratamientos 6 y 14 que se consideran similares a la formula preliminar.

El análisis de los datos se llevó a cabo por medio del Modelo Generalizado de Maxwell de dos elementos (Ecuación 1) y el Modelo de Peleg (Ecuación 2). Para proceder a su análisis, los datos de Fuerza, obtenidos en el texturómetro, se transformaron en Esfuerzo dividiendo por el área de la muestra ( $0,0009 \text{ m}^2$ ). El cálculo de los coeficientes de ambos modelos se realizó con el programa Matlab y el paquete de regresión “EzyFit”, que trabaja sobre la ventana de graficación “plot(x,y)”; en este paquete, se define un valor inicial del coeficiente y se inicia una serie de iteraciones, modificando los valores continuamente hasta conseguir la curva que más se adapte a los datos reales.

#### 8.2.3.1. Modelo Generalizado de Maxwell

Los coeficientes para el Modelo de Maxwell Generalizado de dos elementos (Ecuación 1), encontrados por iteración, se presentan en la Tabla 15. Los valores de  $R^2$  fueron superiores a 0.97 y la Desviación Absoluta Promedio (AAD) estuvo entre 3.28% y 6.91% por lo que se considera que el modelo se ajusta bastante bien a los datos reales obtenidos.

Tabla 15. Coeficientes para Ecuación de Maxwell Generalizado

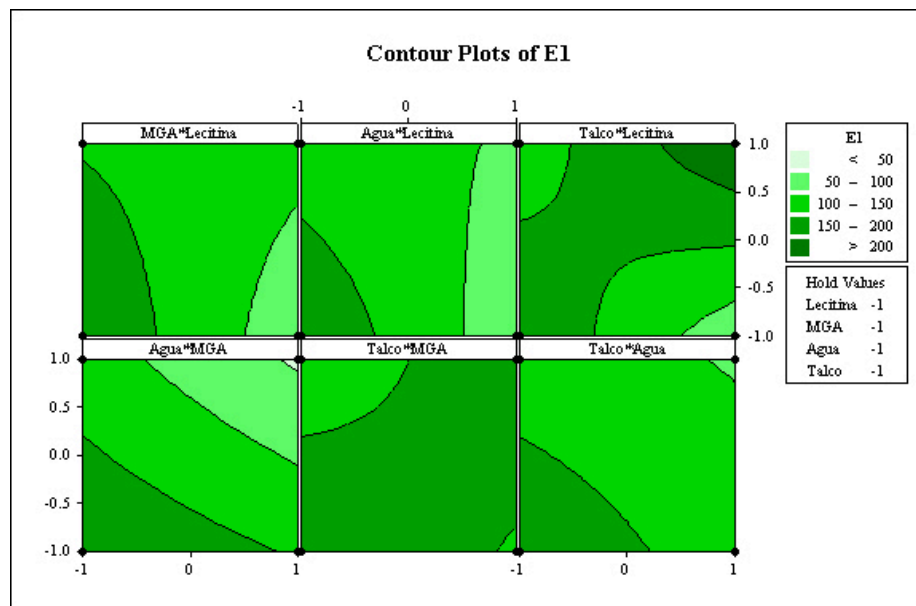
Tratamiento	$C_1$ (kPa)	$E_1$ (kPa)	$C_2$ (kPa)	$E_2$ (kPa)	$\sigma_e$ (kPa)	$E_e$ (kPa)	$\tau_1$ (s)	$\eta_1$ (Pa.s) $10^3$	$\tau_2$ (s)	$\eta_2$ (Pa.s) $10^3$	$R^2$	AAD (%)
1-1	25.130	314.125	425.544	5319.306	13.372	16.715	31.184	9795.674	1.083	5762.404	0.990	4.435
1-2	5.586	69.831	112.089	1401.111	3.421	4.276	29.850	2084.442	0.915	1281.919	0.985	4.062
2-1	10.307	128.843	1043.922	13049.028	4.113	5.141	21.724	2798.987	0.520	6790.062	0.984	6.617
2-2	11.690	146.125	274.700	3433.750	5.743	7.178	26.617	3889.409	0.886	3041.719	0.987	4.912
3-1	10.045	125.565	398.311	4978.889	4.502	5.627	24.351	3057.640	0.683	3398.390	0.984	5.631
3-2	9.583	119.788	177.033	2212.917	6.625	8.281	32.128	3848.533	0.959	2122.076	0.986	3.660
4-1	4.427	55.339	174.844	2185.556	2.451	3.063	25.639	1418.834	0.678	1480.779	0.982	4.811
4-2	2.651	33.135	232.489	2906.111	1.294	1.617	21.601	715.743	0.511	1485.023	0.977	5.584
5-1	8.901	111.263	748.144	9351.806	3.242	4.053	21.072	2344.523	0.533	4982.361	0.982	6.980
5-2	10.526	131.571	622.356	7779.444	4.003	5.003	22.556	2967.712	0.607	4719.556	0.983	6.697
6-1	10.406	130.074	296.844	3710.556	4.931	6.164	25.676	3339.770	0.790	2931.599	0.986	5.127
6-2	22.002	275.028	395.844	4948.056	11.619	14.524	28.781	7915.574	1.029	5092.539	0.989	4.499
7-1	7.879	98.490	355.700	4446.250	4.043	5.054	26.025	2563.209	0.658	2926.833	0.982	5.218
7-2	7.623	95.289	183.344	2291.806	3.798	4.747	27.088	2581.185	0.836	1914.941	0.984	4.960
8-1	4.466	55.829	123.167	1539.583	2.403	3.003	23.211	1295.851	0.777	1195.810	0.983	4.560
8-2	3.837	47.961	50.103	626.292	2.319	2.899	27.306	1309.626	1.148	718.795	0.988	3.693
9-1	4.071	50.882	840.411	10505.139	1.350	1.688	19.491	991.740	0.409	4301.644	0.979	7.787
9-2	7.256	90.700	243.389	3042.361	3.210	4.013	25.764	2336.795	0.747	2271.488	0.984	5.691
10-1	5.026	62.829	587.267	7340.833	1.975	2.469	21.494	1350.450	0.475	3484.547	0.979	6.644
10-2	13.252	165.653	366.333	4579.167	6.014	7.518	26.727	4427.402	0.815	3733.395	0.986	5.439
11-1	4.200	52.501	153.433	1917.917	1.616	2.019	23.862	1252.788	0.700	1342.446	0.982	6.361
11-2	11.143	139.292	215.522	2694.028	6.649	8.312	30.950	4311.077	0.953	2567.489	0.987	4.110
12-1	4.990	62.379	403.511	5043.889	1.925	2.406	21.684	1352.630	0.526	2652.531	0.980	6.618
12-2	5.935	74.183	138.378	1729.722	3.657	4.571	30.071	2230.767	0.846	1463.155	0.984	4.148
13-1	18.403	230.042	314.044	3925.556	8.525	10.657	30.252	6959.221	1.022	4012.703	0.988	5.023
13-2	20.374	254.681	340.178	4252.222	11.664	14.581	31.999	8149.523	1.049	4461.006	0.989	4.149
14-1	40.498	506.222	759.333	9491.667	13.111	16.389	23.970	12134.147	1.026	9739.399	0.991	6.910
14-2	6.308	78.851	596.744	7459.306	2.361	2.951	21.608	1703.821	0.501	3737.261	0.981	6.721
15-1	6.469	80.858	206.911	2586.389	3.065	3.831	26.536	2145.657	0.731	1891.866	0.982	5.305
15-2	11.934	149.181	145.178	1814.722	8.538	10.673	35.463	5290.390	1.223	2219.768	0.989	3.286
16-1	6.394	79.919	85.647	1070.583	3.985	4.981	32.322	2583.156	1.112	1190.382	0.986	3.773
16-2	7.456	93.197	148.522	1856.528	4.414	5.518	31.797	2963.392	0.919	1705.963	0.986	4.178

#### 8.2.3.1.1. Módulo de Elasticidad del Primer Elemento, $E_1$

El módulo del Primer elemento se calculó como  $E_1 = C_1/\varepsilon$ , con  $\varepsilon=0.08$  (deformación del 8%). Los cálculos del Módulo se encuentran depositados en la Tabla 15. Para el análisis de esta variable se utilizó el programa Minitab.

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para el Módulo de elasticidad del primer elemento  $E_1$  son presentados en el *Anexo 10*. Se encontró un efecto significativo del Agua ( $P=0.027$ ) sobre el Módulo de Elasticidad  $E_1$ . No se encontraron efectos significativos de los demás factores, sin embargo se destaca el efecto de las interacciones Lecitina-Talco ( $P=0.130$ ), Lecitina-Agua-Talco ( $P=0.248$ ) y del Talco ( $P=0.252$ ).

Figura 23. Gráficos de Contorno para  $E_1$



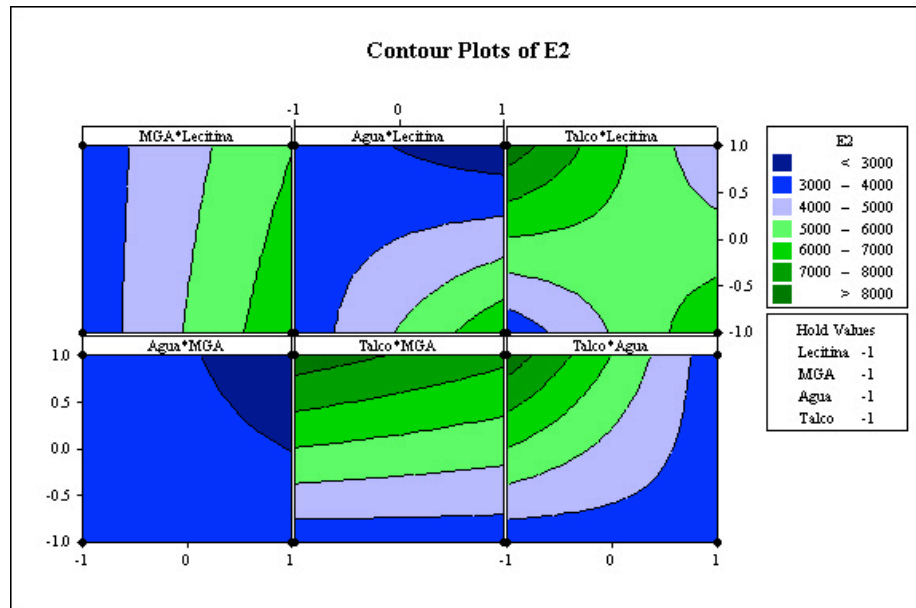
La figura 23 presenta los gráficos de contorno para el Módulo de Elasticidad  $E_1$ . Se observa una tendencia de reducirse con el aumento de Lecitina, Agua y Talco.

#### 8.2.3.1.2. Módulo de Elasticidad del Segundo Elemento $E_2$

El módulo del Segundo elemento se calculó como  $E_2 = C_2/\varepsilon$ , con  $\varepsilon=0.08$ . Los cálculos del Módulo se encuentran depositados en la Tabla 15. Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados analizados en Minitab para el Módulo de Elasticidad del Segundo Elemento  $E_2$  son presentados en el *Anexo 11*. Se encontró un efecto significativo del Agua ( $P=0.002$ ) sobre este Módulo. No se encontraron efectos significativos de los otros factores y se destaca el efecto de la interacción Agua-Talco ( $P=0.113$ ), Lecitina-Talco ( $P=0.221$ ) y Lecitina-Agua-Talco ( $P=0.255$ ).

La figura 24 presenta los gráficos de contorno para el Módulo de Elasticidad  $E_2$ . Se observa una tendencia clara de aumentar su valor con el incremento de Lecitina y Talco.

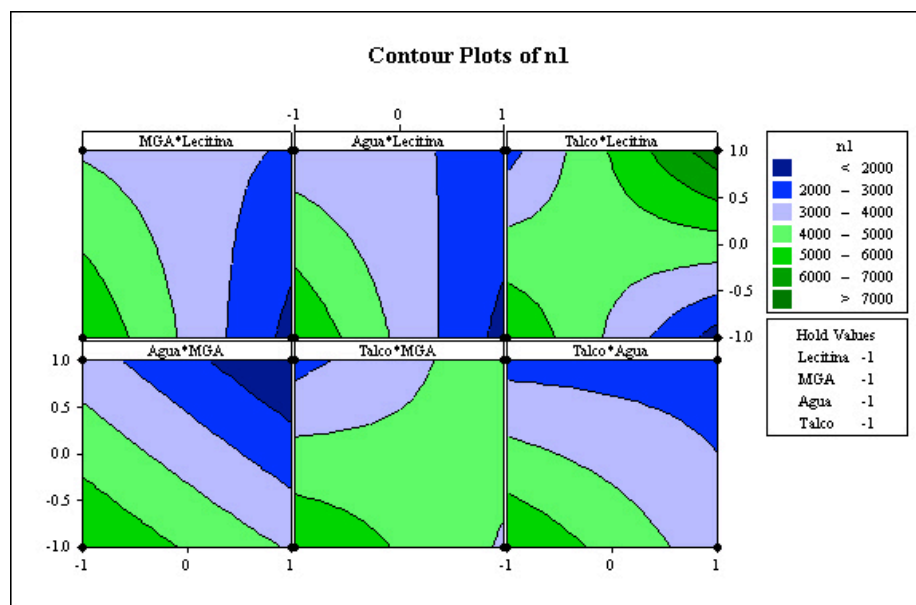
Figura 24. Gráficos de Contorno para  $E_2$



#### 8.2.3.1.3. Viscosidad del Primer Elemento, $\eta_1$

La Viscosidad del Primer Elemento se calculó como  $\eta_1 = E_1 \cdot \tau_1$ . Los cálculos de la viscosidad se encuentran depositados en la Tabla 15. Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados analizados en Minitab para la Viscosidad del Elemento 1,  $\eta_1$  son presentados en el Anexo 12. Se encontró un efecto significativo del Agua ( $P=0.048$ ) sobre la viscosidad  $\eta_1$ . No se encontraron efectos significativos de los otros factores, aunque se destaca el efecto de la interacción Lecitina-Talco ( $P=0.073$ ) y del Talco individual ( $P=0.282$ ).

Figura 25. Gráficos de Contorno para  $\eta_1$



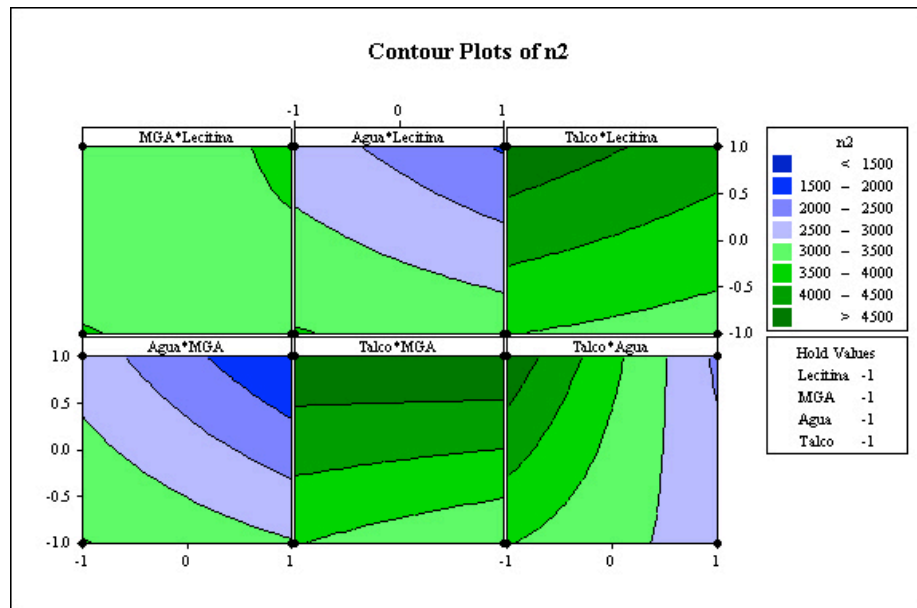
La figura 25 presenta los gráficos de contorno para la viscosidad del elemento 1  $\eta_1$ . Se observa una tendencia de reducirse su valor con el aumento de Lecitina, Agua y Talco.

#### 8.2.3.1.4. Viscosidad del Segundo Elemento, $\eta_2$

La Viscosidad del Primer Elemento se calculó como  $\eta_2 = E_2 \cdot \tau_2$ . Los cálculos de la viscosidad se encuentran depositados en la Tabla 15.

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para la Viscosidad del Elemento 2,  $\eta_2$  son presentados en el *Anexo 13*. Se encontró un efecto significativo del Agua ( $P=0.001$ ) sobre esta variable. No se encontraron efectos significativos de los otros factores, aunque se destacan la interacción Agua-Talco ( $P=0.078$ ), MGA-Agua ( $P=0.236$ ) y Talco ( $P=0.217$ ).

Figura 26. Gráficos de Contorno para  $\eta_2$



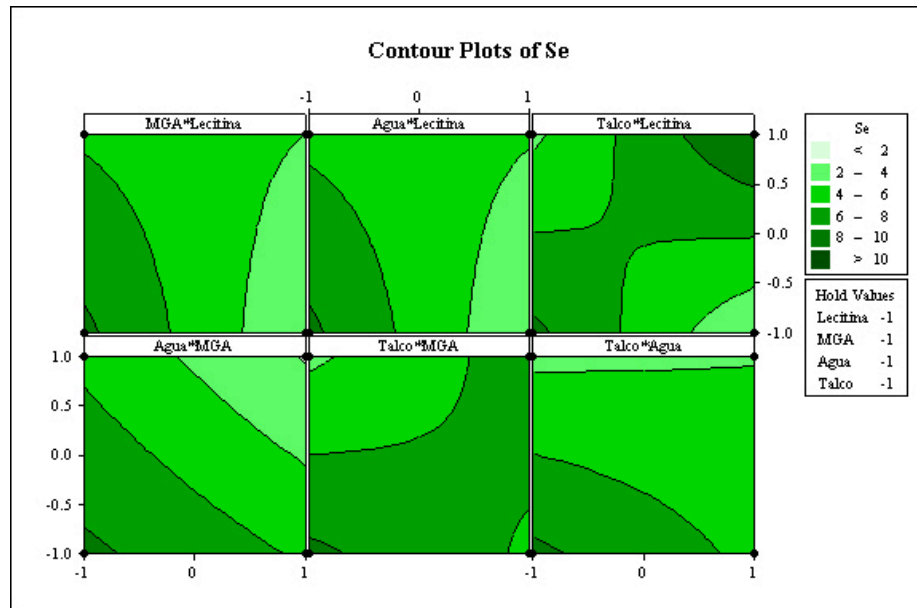
La figura 26 presenta los gráficos de contorno para la Viscosidad  $\eta_2$ . Se observa una tendencia de reducirse su valor con el aumento del Agua y la reducción de Talco.

#### 8.2.3.1.5. Esfuerzo de Equilibrio $\sigma_e$

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para el Esfuerzo de Equilibrio  $\sigma_e$  son presentados en el *Anexo 14*. No se encontraron efectos significativos de ninguno de los factores. Se destacan, sin embargo, la interacción Lecitina-Talco ( $P=0.068$ ) y Agua ( $P=0.086$ ).

La figura 27 presenta los gráficos de contorno para el esfuerzo de equilibrio  $\sigma_e$ . Se observa una tendencia de reducirse su valor con el aumento de MGA, Lecitina y Talco.

Figura 27. Gráficos de Contorno para  $\sigma_e$



#### 8.2.3.1.6. Análisis del Modelo Maxwell Generalizado

Luego de la regresión del modelo Maxwell Generalizado para determinar los coeficientes se encontraron valores bastante aceptables con un  $R^2$  superiores a 0.97 y una Desviación Absoluta Promedio (AAD) menor a 7%, lo que indica que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos reales.

El Agua presentó un efecto significativo tanto en los módulos de Elasticidad como en las viscosidades, reduciéndose sus valores a medida que se incrementa el nivel de agua. El esfuerzo de equilibrio ( $\sigma_e$ ) no presentó efectos significativos de los factores (ingredientes) analizados. Esto significa que el uso del agua hace la goma más blanda y menos viscosa.

Con el análisis de los contornos, se elaboró la Tabla 16, donde se presenta la tendencia de cambio de los módulos y viscosidades para el primer y segundo elemento así como para el esfuerzo de equilibrio.

Tabla 16. Tendencias de las variables del Modelo de Maxwell con los factores analizados.

Acción	$E_1$	$E_2$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\sigma_e$
Aumento Agua	reduce		reduce	reduce	
Aumento Lecitina	reduce	aumenta	reduce		reduce
Aumento Talco	reduce	aumenta	reduce	reduce	reduce
Aumento MGA					reduce

El factor que más variables tiende a modificar es el Talco, seguido por la lecitina y el agua, aunque estos movimientos no sean significativos fueron percibidos en los gráficos de contorno.



### 8.2.3.2. Modelo de Peleg

Los coeficientes encontrados por iteración para el Modelo de Peleg (Ecuación 2) se presentan en la Tabla 17. En este caso los valores de  $R^2$  estuvieron por encima de 0.95 y una Desviación Absoluta Promedio (AAD) entre 4.90% y 8.54%, por lo que se considera que tuvo, al igual que el Modelo de Maxwell Generalizado, un muy buen ajuste a los datos reales.

Tabla 17. Coeficientes para Ecuación de Peleg

Tratamiento	$k_1$ (s)	$k_2$	$\sigma_0$ (kPa)	$R^2$	AAD (%)
1-1	0.0499	1.0037	3574.20	0.976	7.088
1-2	0.0792	1.0074	461.82	0.967	6.538
2-1	0.0139	1.0009	4372.50	0.954	6.980
2-2	0.0231	1.0017	3283.10	0.974	6.490
3-1	0.0209	1.0015	2842.20	0.966	6.462
3-2	0.1387	1.0141	476.65	0.965	6.361
4-1	0.0228	1.0021	1150.90	0.963	6.450
4-2	0.0203	1.0017	712.01	0.957	5.564
5-1	0.0117	1.0007	4272.30	0.958	6.532
5-2	0.0167	1.0010	3726.70	0.962	6.730
6-1	0.0218	1.0016	2955.10	0.970	6.418
6-2	0.0555	1.0042	2740.90	0.977	6.738
7-1	0.0215	1.0018	2220.70	0.962	7.091
7-2	0.0784	1.0061	615.98	0.969	7.083
8-1	0.0149	1.0013	1754.90	0.972	4.901
8-2	0.1057	1.0093	245.57	0.979	5.256
9-1	0.0146	1.0009	1451.30	0.950	8.606
9-2	0.0160	1.0011	2809.00	0.967	7.129
10-1	0.0183	1.0013	1487.40	0.954	7.970
10-2	0.0257	1.0018	3287.90	0.970	7.601
11-1	0.0186	1.0012	1328.30	0.966	8.546
11-2	0.1421	1.0122	547.28	0.969	6.712
12-1	0.0197	1.0013	1385.90	0.959	6.765
12-2	0.1177	1.0111	331.21	0.964	6.681
13-1	0.1789	1.0116	732.19	0.973	7.912
13-2	0.1446	1.0116	1013.60	0.972	7.116
14-1	0.0187	1.0008	14550.00	0.983	6.374
14-2	0.0122	1.0008	2790.80	0.958	7.187
15-1	0.0786	1.0060	505.99	0.964	7.523
15-2	0.4922	1.0437	205.04	0.970	6.262
16-1	0.1593	1.0146	278.78	0.967	7.008
16-2	0.1693	1.0147	304.06	0.964	7.181

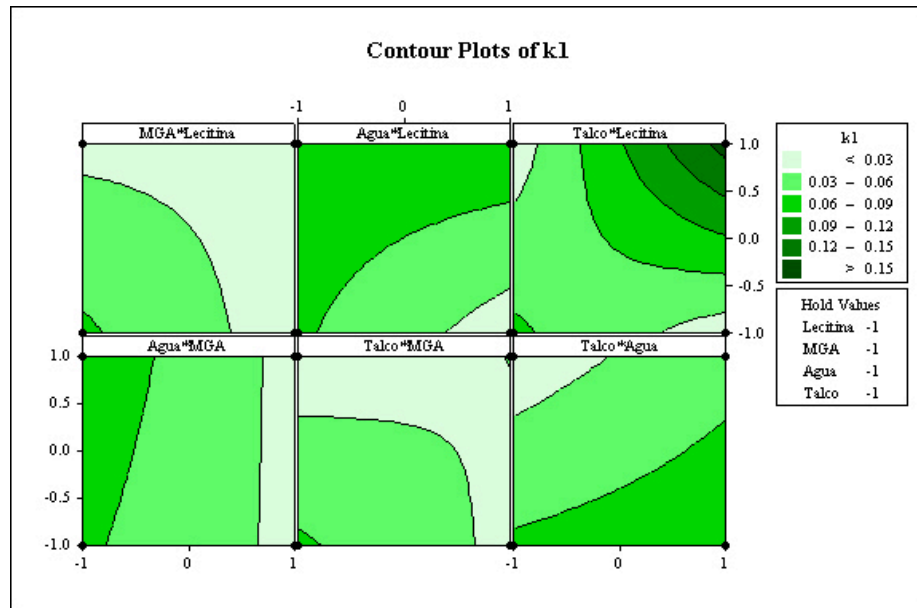
#### 8.2.3.2.1. Coeficiente $k_1$

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para la Constante  $k_1$  son presentados en el *Anexo 15*. No se encontraron efectos significativos de ningún factor sobre este coeficiente, aunque se destacan el efecto de la Lecitina ( $P=0.071$ ), el Agua ( $P=0.074$ ) y la interacción Lecitina-Talco ( $P=0.068$ ).

La figura 28 presenta los gráficos de contorno para el coeficiente  $k_1$ . Se observa una tendencia de aumentar el valor de  $k_1$  con el incremento del Agua y Lecitina, lo que significa que tiende a parecerse al comportamiento de un líquido con estos cambios.



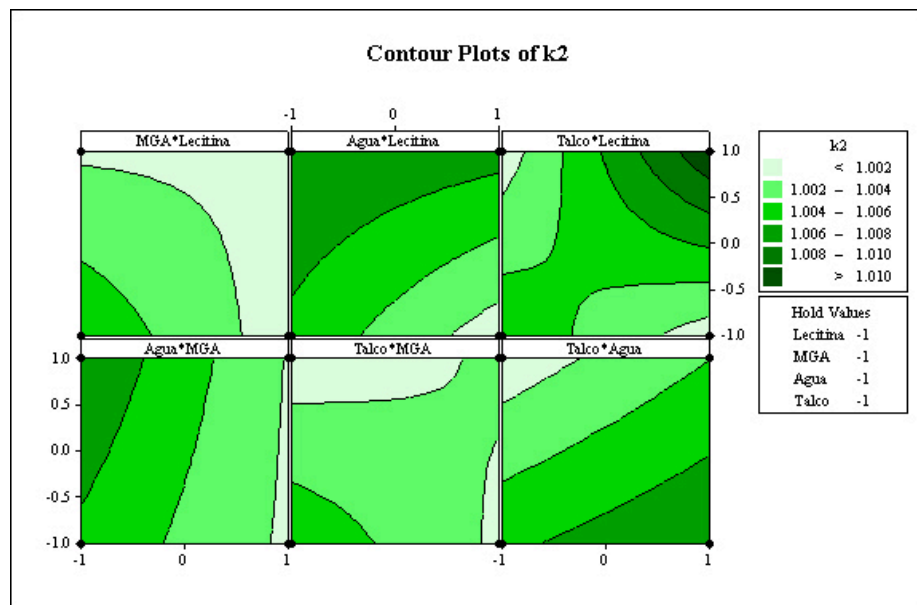
Figura 28. Gráficos de Contorno para el Coeficiente  $k_1$



#### 8.2.3.2.2. Coeficiente $k_2$

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para el Coeficiente  $k_2$  son presentados en el *Anexo 16*. No se encontraron efectos significativos de ningún factor, aunque se destaca el efecto del Agua ( $P=0.055$ ) y las interacciones Lecitina-MGA-Talco ( $P=0.152$ ) y Lecitina-Talco ( $P=0.084$ ).

Figura 29. Gráficos de Contorno para el Coeficiente  $k_2$



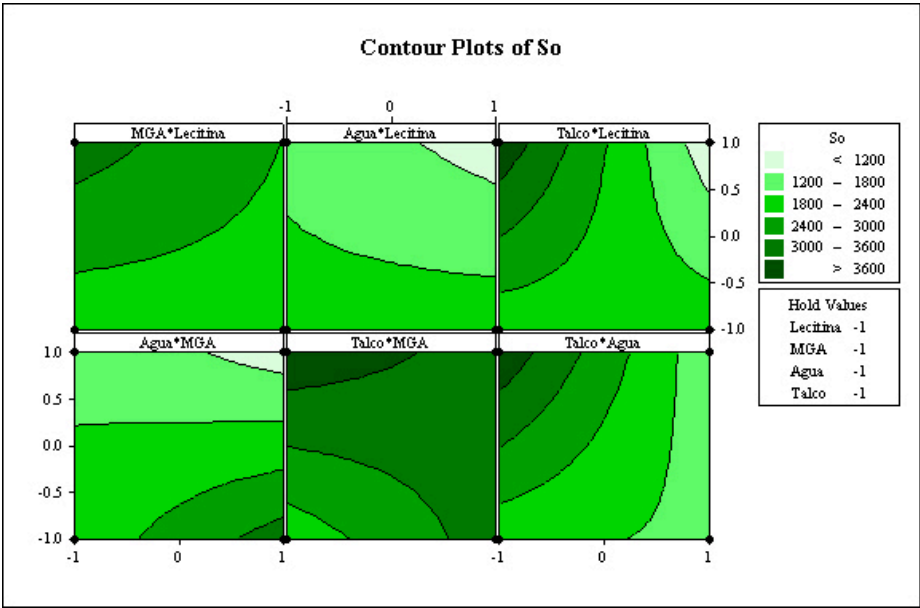
La figura 29 presenta los gráficos de contorno para el coeficiente  $k_2$ . Se observa una leve tendencia (no significativa) de incrementar el valor  $k_2$  al aumentar el nivel de agua, lo que

significaría que al incrementar el agua se tiende a parecer más a un sólido. Este resultado contrasta con lo encontrado para  $k_1$  y no tiene sentido físico, por lo cual no se tendrá en cuenta para el análisis de resultados.

8.2.3.2.3. *Esfuerzo Inicial  $\sigma_0$*

Los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para el Esfuerzo Inicial  $\sigma_0$  son presentados en el *Anexo 17*. Se encontró un efecto significativo del Agua ( $P=0.01$ ) sobre el esfuerzo inicial. Los demás factores no tuvieron efecto significativo sobre el esfuerzo inicial, aunque se destacan las interacciones MGA-Agua ( $P=0.153$ ), Lecitina-MGA-Agua-Talco ( $P=0.161$ ) y Lecitina-MGA-Talco ( $P=0.187$ ).

Figura 30. Gráficos de Contorno para el Esfuerzo Inicial  $\sigma_0$



La figura 30 presenta los gráficos de contorno para el coeficiente  $\sigma_0$ . Se observa una tendencia de reducirse su valor con el aumento de Lecitina y Agua.

8.2.3.2.4. *Análisis Modelo Peleg*

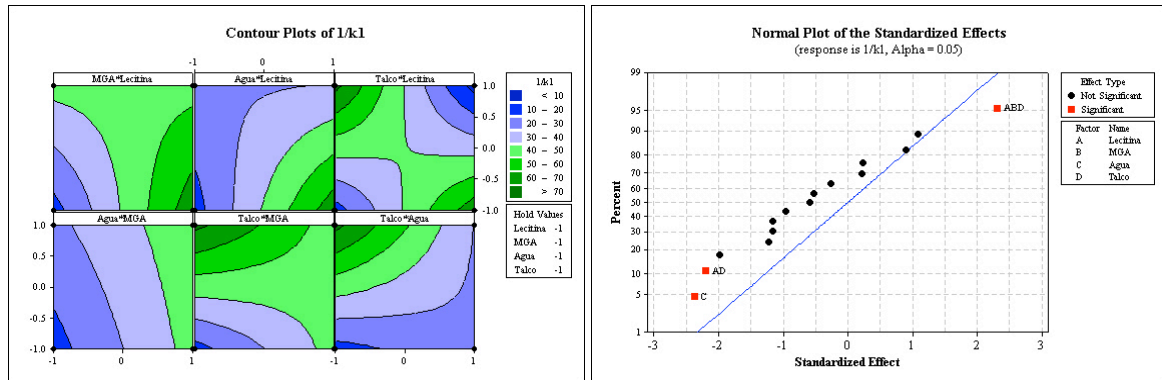
El Agua presentó un efecto significativamente negativo en el Esfuerzo Inicial, lo que significa que la dureza inicial se reduce al aumentar el agua. No se presentaron efectos significativos en las demás variables del Modelo de Peleg. Sin embargo, se determinaron tendencias de tener un comportamiento más parecido a un líquido al incrementar además del agua la lecitina. Las tendencias de las diferentes variables se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Tendencias de las variables con los diferentes factores.

Acción	$k_1$	$k_2$	$\sigma_0$
Aumento Agua			reduce
Aumento Lecitina	reduce	reduce	reduce
Aumento Talco	reduce	reduce	
Aumento MGA	reduce	reduce	

Por definición, el recíproco de  $k_1$  representa la rata inicial de reducción del elemento viscoso, por lo tanto se analizó el valor  $1/k_1$  por medio de Minitab para analizar las tendencias y significancias de esta variable. En la Figura 31 se presentan los gráficos de contorno y de efectos estandarizados.

Figura 31. Graficos de Contorno y Efectos Estándar para  $1/k_1$



Se encontró un efecto significativo en el Agua ( $P=0.030$ ) y las interacciones Lecitina-Talco ( $P=0.043$ ) y Lecitina-MGA-Talco ( $P=0.034$ ), lo que significa que la viscosidad se reduce más rápidamente al reducir todos los factores, pero especialmente al reducir el agua. En los gráficos de contorno presentados en la Figura 31, se observa más claramente que la velocidad de reducción del elemento viscoso se incrementa al aumentar el nivel de MGA y Talco.

Al analizar  $k_2$ , el cual es un valor hipotético de la fuerza asintótica normalizada del elemento elástico, se concluye que el elemento elástico reducirá el esfuerzo en el tiempo con el aumento de Lecitina, MGA y Talco, lo que significa que la goma se pondrá mas blanda.

Al analizar el tiempo de relajación ( $t_{rel}$ ) que se obtiene al despejar el tiempo en la Ecuación 2 y aplicando  $\sigma_t = 0.75\sigma_0$ . Los resultados de los tiempos de relajación para cada tratamiento se presentan en la Tabla 19.

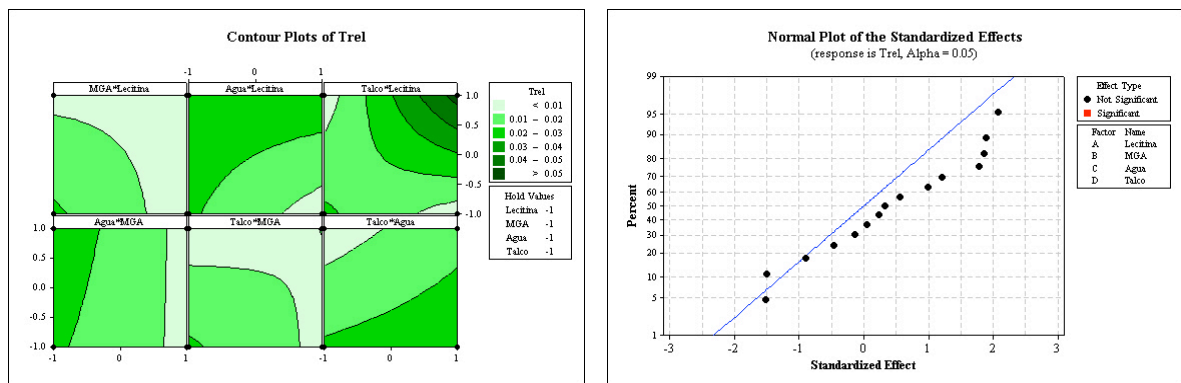
$$t_{rel} = \frac{k_1}{(4 - k_2)} \quad (\text{Ecuación 9})$$

No se encontraron efectos de los factores sobre el tiempo de relajación. Sin embargo, se destacan los efecto de la lecitina ( $P=0.076$ ), agua ( $P=0.080$ ) y Talco ( $P=0.092$ ), los cuales incrementan el tiempo de relajación con el aumento en el nivel de cada uno de los ingredientes. En la Figura 32 se presentan los gráficos de contorno para el tiempo de relajación. Se observa la reducción en el tiempo con el aumento de MGA.

Tabla 19. Tiempos de relajación encontrados con el Modelo de Peleg

Tratamiento	$t_{rel}$
1-1	0.0167
1-2	0.0265
2-1	0.0046
2-2	0.0077
3-1	0.0070
3-2	0.0465
4-1	0.0076
4-2	0.0068
5-1	0.0039
5-2	0.0056
6-1	0.0073
6-2	0.0185
7-1	0.0072
7-2	0.0262
8-1	0.0050
8-2	0.0353
9-1	0.0049
9-2	0.0053
10-1	0.0061
10-2	0.0086
11-1	0.0062
11-2	0.0476
12-1	0.0066
12-2	0.0394
13-1	0.0599
13-2	0.0484
14-1	0.0062
14-2	0.0041
15-1	0.0262
15-2	0.1665
16-1	0.0534
16-2	0.0567

Figura 32. Gráficos de Contorno y de Efectos estandarizados para el Tiempo de Relajación



### 8.2.3.3. Conclusiones Prueba Relajación:

Al comparar los modelos de Maxwell Generalizado y Peleg, se puede observar que ambos obtuvieron muy buenos ajustes. Sin embargo, los índices de correlación  $R^2$  y AAD tuvieron mejores valores ( $R^2_{\text{Maxwell}} > 0.97$  vs  $R^2_{\text{Peleg}} > 0.95$  y  $\text{AAD}_{\text{Maxwell}} < 6.91\%$  vs  $\text{AAD}_{\text{Peleg}} < 8.54\%$ ), lo que indica que el Modelo de Maxwell Generalizado de dos Elementos es el más adecuado para describir las curvas obtenidas.

Se concluye que el Agua es el factor de mayor impacto significativo sobre la elasticidad y viscosidad, reduciendo su valor (Maxwell) y en el esfuerzo inicial (Peleg), lo que significa que el agua hace la goma mas blanda y menos viscosa. Esto se debe a que el agua tiene un alto poder plastificante, debido a que fácilmente hidrata los poros generados por el mezclado, separando las moléculas entre sí facilitando su deslizamiento.

Los otros factores que indican una tendencia de afectar en mayor medida los modelos son el Talco que reduce la viscosidad y elasticidad del segundo elemento, aumentando la del primero (Maxwell), lo que significa que tiene algún efecto (no significativo) en la dureza y viscosidad de la goma y la Lecitina que reduce los valores de todas las variables peleg, lo que indica que reduce la dureza.

Por medio del análisis del recíproco del coeficiente  $k_1$  (Modelo Peleg) se encontró un efecto significativo del Agua y las interacciones Lecitina-Talco y Lecitina-MGA-Talco sobre la rata inicial de reducción del elemento viscoso, lo que significa que la viscosidad se reducirá más rápidamente al reducir los factores analizados, pero especialmente al reducir el Agua.

Al analizar el coeficiente  $k_2$  (Modelo Peleg) no se encontraron efectos significativos de los factores, aunque se concluye que el elemento elástico reducirá el esfuerzo en el tiempo, lo que implica que reducirá su dureza, con el incremento de los niveles de Lecitina, MGA y Talco.

Tras el análisis del tiempo de relajación ( $t_{rel}$ ), no se encontró un efecto significativo de los factores, pero se observa una tendencia de incrementar este tiempo con el aumento de los niveles de lecitina, agua y talco.

#### 8.2.4. Resultados Dureza Shore

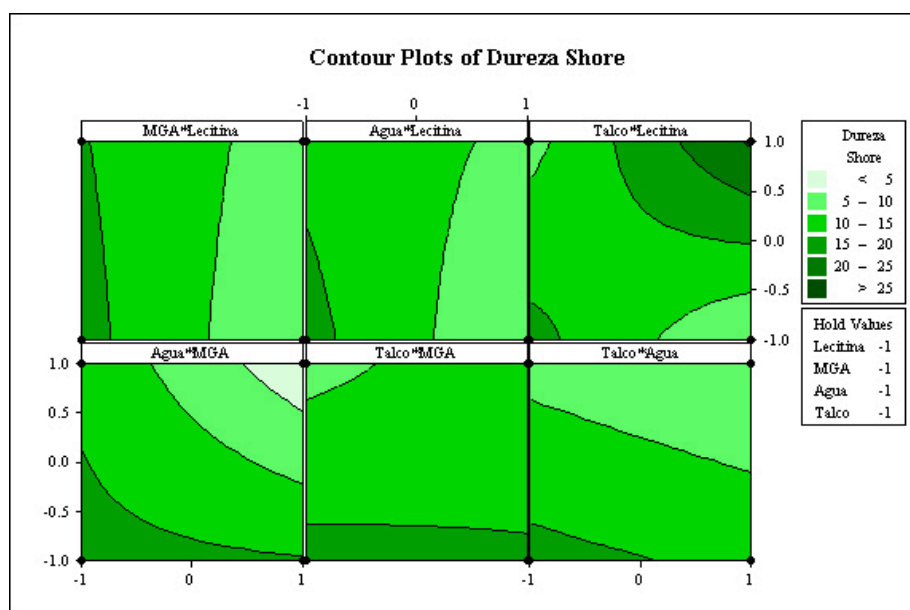
Para la medición de la dureza de las muestras se llevó a cabo el procedimiento descrito en la sección 6.4. Los resultados promedio de 3 mediciones para cada tratamiento se presentan en la Tabla 20 para cada tratamiento y réplica.

Tabla 20. Durezas en Shores para los diferentes Tratamientos

Corrida	Tratamiento	Replica	Dureza (Shore)
2	1	1	29.0
16	1	2	4.0
12	2	1	1.0
3	2	2	15.3
27	3	1	8.0
1	3	2	19.7
19	4	1	2.5
22	4	2	1.0
31	5	1	11.0
25	5	2	6.0
10	6	1	16.3
6	6	2	22.0
18	7	1	6.0
21	7	2	4.5
11	8	1	2.7
9	8	2	5.3
29	9	1	2.5
23	9	2	8.0
28	10	1	0.0
8	10	2	15.0
24	11	1	4.0
7	11	2	13.7
26	12	1	0.0
15	12	2	10.3
14	13	1	20.0
4	13	2	31.3
17	14	1	4.0
32	14	2	0.5
30	15	1	2.0
5	15	2	24.0
20	16	1	1.5
13	16	2	6.7

Luego de realizar el análisis de los datos por medio de Minitab se presentan los resultados de efectos, coeficientes, ANOVA, gráficos de residuales y efectos estandarizados para el Dureza Shore en el Anexo 18. Al analizar el valor P, se concluye que la variable que más afecta la Dureza Shore es MGA ( $P=0.098$ ), seguida por la interacción Lecitina-MGA-Talco ( $P=0.074$ ) y el agua ( $P=0.145$ ), aunque estos efectos no son considerados significativos. Algo importante por resaltar es que aunque aparentemente los datos varían mucho entre sí, esta variación se califica como un comportamiento normal, al analizar los datos residuales.

Figura 33. Gráficos de Contorno para Dureza Shore



La figura 33 presenta los gráficos de contorno para la Dureza Shore. Se observa una tendencia de reducirse su valor con el aumento de Lecitina, Talco y Agua.

Comparando los resultados de Dureza Shore con la Dureza encontrada con la prueba TPA se encuentran sorprendentes similitudes en los contornos (Figura 15), por lo que se puede suponer que existe una correlación entre estos dos tipos de dureza. Para resolver la hipótesis de que existe realmente una relación entre estas dos variables, se analizaron los pares de datos obtenidos durante la Etapa 1 por medio del programa Sigma Plot para realizar una regresión y verificar la significancia de sus coeficientes.

En la Figura 34 se presentan los puntos de los pares de datos obtenidos en la Etapa 1, así como la regresión lineal (Primer Orden) y regresión cuadrática (Segundo Orden) y en la Tabla 21 se presentan las ecuaciones encontradas luego de la regresión matemática.

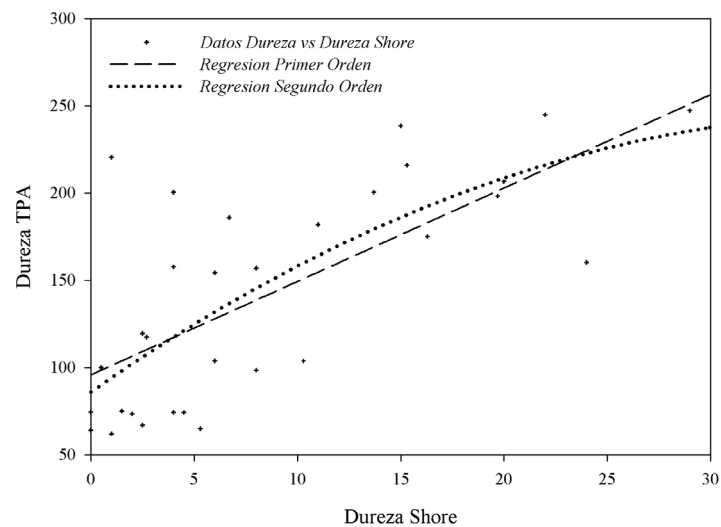
En el *Anexo 19* se presenta el análisis estadístico para determinar la significancia de los coeficientes en cada una de las regresiones. En el caso de la regresión lineal (primer orden) se

Tabla 21. Correlaciones para Dureza TPA (D) y Dureza Shore (DS)

Regresión	Ecuación	y <sub>0</sub>	a	b	R
Primer Orden (Linear)	$D=y_0+a*DS$	95.7944	5.3540		0.7366
Segundo Orden (Cuadratica)	$D=y_0+a*DS+b*DS^2$	85.8919	8.2984	-0.1081	0.7474

encontró que la constante  $y_0$  ( $P<0.0001$ ), así como el coeficiente lineal  $a$  ( $P<0.0001$ ) se consideran significativos. Para la regresión cuadrática se encontraron igualmente la constante  $y_0$  ( $P<0.0001$ ) y el coeficiente lineal  $a$  ( $P=0.0099$ ) como significativos, pero el coeficiente cuadrático  $b$  no lo es ( $P<0.3136$ ).

*Figura 34. Gráficos de los datos y Regresiones Lineal y Cuadrática para los pares de datos de Dureza TPA (D) y Dureza Shore (DS)*



Se concluye que existe una relación lineal entre la Dureza TPA (D) y la Dureza Shore (DS) y está representada por la ecuación:

$$D = 95.7944 + 5.354 \times DS \quad (\text{Ecuacion 10})$$

donde, D se encuentra en Newtons y DS se encuentra en Shores.



### 8.2.5. Conclusiones de la Etapa 1

Se observó que entre los factores analizados el *Agua* fue el único que afectó significativamente parámetros de textura analizados en todas las pruebas tales como: Reduce la Dureza, Adhesividad, Gomosidad, Masticabilidad y Modulo de deformación (TPA), Reduce los módulos de Elasticidad y Viscosidad para los Elementos del Modelo de Maxwell, y el esfuerzo inicial de relajación y tiende a comportarse más a un sólido según el Modelo de Peleg (Relajación). Se destacó su efecto sobre la Dureza (Shore).

El hecho de que al incrementar el agua se reduzca la dureza pero tiende a comportarse más como sólido es contrastante. Esto puede significar que el agua podría tener un efecto disgregador en las partículas del chicle separándolas entre sí y haciendo más fuertes las partículas individuales.

Ni el Talco, Lecitina ni los MGA tuvieron efectos significativos sobre la textura en los niveles analizados. Sin embargo, se destacaron los siguientes efectos:

*MGA*: sobre la Dureza Shore y la Elasticidad y su interacción con el Agua en Masticabilidad y Cohesividad determinados durante la prueba TPA. *Talco*: se destacó su interacción con MGA-Agua para masticabilidad, gomosidad, adhesividad y dureza en la prueba TPA y su efecto en todas las variables del Modelo de Maxwell. *Lecitina*: tuvo una tarea destacada en su interacción con el agua en Masticabilidad, gomosidad, adhesividad, cohesividad y dureza para la prueba TPA y su tendencia a reducir los módulos y viscosidades de los elementos del modelo de Peleg, su interacción con el Talco para disminuir la dureza (reduce  $k_1$ ) calculado con el Modelo de Peleg y su interacción con MGA y Talco sobre la Dureza Shore.

Dada la claridad en las tendencias encontradas, se sugiere que al incrementar las diferencias entre los niveles evaluados en estos factores se pueden encontrar diferencias significativas.

En cuanto la *Adhesividad*, que es la principal variable de esta investigación, presentó el Agua un efecto significativo individual y se identificó como segundo ingrediente en importancia MGA, dado que individualmente y en interacción con el Agua reduce en mayor grado la adhesividad de la goma de mascar. A medida que se incrementa el agua se reduce la adhesividad. Igual ocurre al aumentar los MGA, aunque no se consideró significativo su efecto.

En la prueba de *Relajación* se encontró que tanto el modelo de Maxwell como de Peleg ofrecen una excelente correlación entre el esfuerzo y el tiempo, sin embargo, al comparar los resultados de  $R^2$  y AAD se concluye que el Modelo de Maxwell tiene mayor precisión. Como se mencionó previamente, el Agua es el factor con diferencia significativa: al aumentar el agua se reducen los módulos de elasticidad y la viscosidad de los elementos Maxwell y se reduce el esfuerzo inicial de Peleg esto significa que se reduce la dureza de la goma de mascar.

Al analizar los resultados de la Dureza Shore, se encontraron sorprendentes similitudes entre el gráfico de contorno y el encontrado para Dureza TPA. Realizando un análisis de datos se encontró una correlación lineal entre la Dureza Shore y la Dureza por TPA (representada por la Ecuación 10).

### 8.3. Etapa 2: Optimización

#### 8.3.1. Análisis de la Máxima Pendiente – Punto 1

Se seleccionaron como los ingredientes que más aportaron a la reducción de la Adhesividad, basado en las conclusiones del punto 8.2.2.9., los cuales fueron el *Agua (H)* y los *Monoglicéridos Acetilados (MGA)*. Desde el punto del análisis de la Etapa 1, se calculó la máxima pendiente para estos dos ingredientes para un incremento de 0.5 en  $X_{MGA}$  (0.3% MGA):

$$\mu = \frac{b_{MGA}}{2 \cdot X_{MGA}} = \frac{-1.156}{2 \times 0.5} = -1.156$$

$$X_H = \frac{b_H}{2 \cdot \mu} = \frac{-3.822}{2 \times (-1.156)} = \frac{3.822}{2.312} = 1.65$$

$$H_{(X_H=1.65)} = 0.265\%$$

##### 8.3.1.1. Diseño Experimental

En este nuevo punto (MGA=0.3% y H=0.265%) se realizó un diseño factorial  $2^2$ , presentado en la Tabla 22, junto con la codificación de los valores reales en la Tabla 23.

Tabla 22. Diseño Factorial  $2^2$  para Análisis de Máxima Pendiente

Orden	Tratamiento	Replica	MGA	Agua (H)
1	4	1	1	1
2	4	2	1	1
3	2	2	1	-1
4	3	1	-1	1
5	1	1	-1	-1
6	2	1	1	-1
7	3	2	-1	1
8	1	2	-1	-1

Tabla 23. Codificación de los niveles para cada Factor – Máxima Pendiente

Factor	Nivel Codificado (X <sub>i</sub> )	Porcentaje en Formula (%)	Codificación
Agua (H)	-1	0.165	$X_H = 10 \times H - 2.65$
	1	0.365	
MGA	-1	0.200	$X_{MGA} = 10 \times MGA - 3$
	1	0.400	

Para determinar la adhesividad se realizará la prueba de Adhesividad mediante el Método Shakanoshita (punto 6.7.) utilizando émbolos de Resina Acrílica y de Metal, con el fin de comparar los resultados entre ellos.

Tabla 24. Resultados Adhesividad Máxima Pendiente – Punto 1

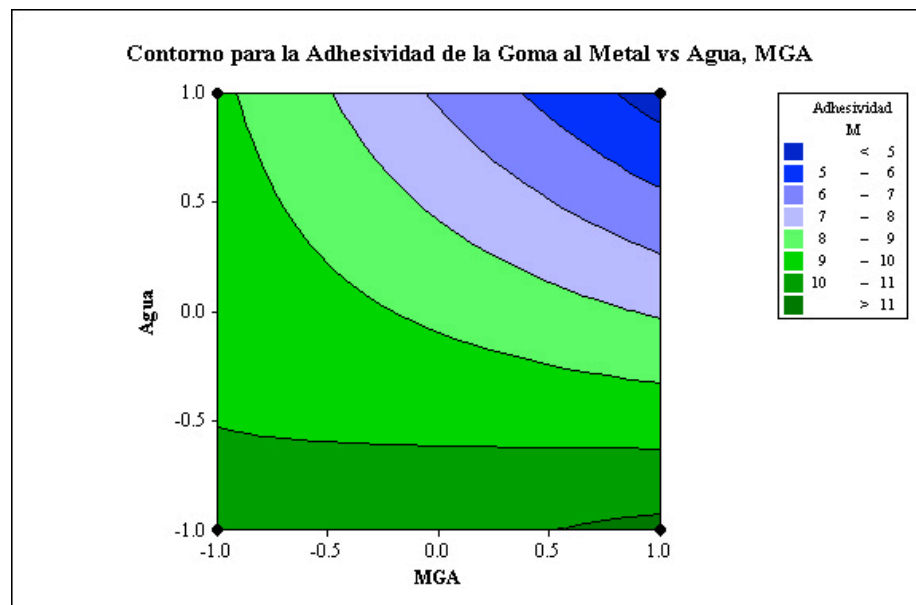
Corrida	Tratamiento	Replica	Adhesividad Resina (mJ)	Adhesividad Metal (mJ)
5	1	1	1.248	10.534
8	1	2	0.955	9.954
6	2	1	2.328	12.738
3	2	2	0.889	9.749
4	3	1	1.971	8.454
7	3	2	1.796	9.963
1	4	1	0.427	4.395
2	4	2	0.200	4.676

Para el análisis de los datos se empleó la ecuación de Adhesividad presentada en la Tabla 1 (TPA). Los resultados de adhesividad para la prueba de Máxima Pendiente tanto sobre el metal como sobre Resina Acrílica se presentan en la Tabla 24. Realizando el análisis de los datos en Minitab, se obtienen los siguientes resultados:

#### 8.3.1.2. Adhesividad Método Shakanoshita al Metal

Los resultados numéricos para efectos, coeficientes y ANOVA de los datos de dureza se encuentran consignados en el *Anexo 20*, junto con los gráficos de residuales y efectos estandarizados, en los cuales se confirma que el Agua tiene un efecto significativo sobre la adhesividad al metal ( $P=0.010$ ) y se detectó además la significancia de la interacción Agua-MGA ( $P=0.029$ ), aunque el efecto de MGA fue también importante ( $P=0.097$ ).

Figura 35. Gráficos de Contorno para la Adhesividad al Metal – Máxima Pendiente

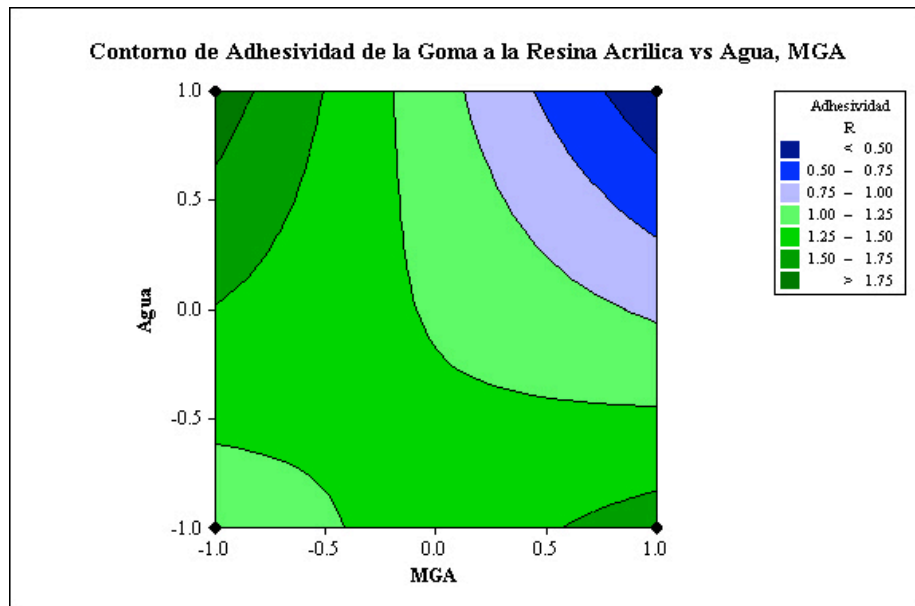


En la figura 35 presenta el gráfico de contorno para Adhesividad al metal. Se observa una tendencia de reducir la adhesividad al metal con el incremento de Agua y MGA. Para confirmar esta tendencia se procede analizar la adhesividad a la Resina Acrílica.

### 8.3.1.3. Adhesividad Método Shakanoshita a la Resina Acrílica

Los resultados numéricos para efectos, coeficientes y ANOVA de los datos de dureza se encuentran consignados en el *Anexo 20*, junto con los gráficos de residuales y efectos estandarizados. Contrario a lo encontrado en el Metal, para el caso de la Resina no se identificaron como significativos los efectos, aunque en el caso de la interacción MGA-Agua estuvo en el límite ( $P=0.050$ ) y se observó un poco más de efecto en MGA ( $P=0.228$ ) que el Agua ( $P=0.531$ ).

*Figura 36. Gráficos de Contorno para la Adhesividad a la Resina Acrílica  
Máxima Pendiente*



En la figura 36 presenta el gráfico de contorno para Adhesividad a la resina acrílica. Se observa una tendencia de reducir la adhesividad a la resina con el incremento de Agua y MGA, aunque se encontraron datos contrarios en los puntos (-1,-1). Estos valores erróneos pueden obedecer a que la forma de la resina acrílica no es plana sino en forma de hemisferio, lo que reduce el área de contacto resina-goma y puede producir mayores errores.

Para determinar el segundo punto de máxima pendiente se proceden a analizar los datos obtenidos con Adhesividad al Metal, pues fueron más precisos.

### 8.3.2. Análisis de Máxima Pendiente – Punto 2

El segundo punto de máxima pendiente se calcula a partir del primer punto analizando la pendiente obtenida para un incremento de 0.5 en  $X_{MGA}$  (0.35% MGA):

$$\mu = \frac{b_{MGA}}{2 \cdot X_{MGA}} = \frac{-0.918}{2 \times 0.5} = -0.918$$

$$X_H = \frac{b_H}{2 \cdot \mu} = \frac{-1.936}{2 \times (-0.918)} = \frac{1.936}{1.836} = 1.054$$

$$H_{(X_H=1.65)} = 0.405\%$$

El nuevo punto (MGA=0.35% y H=0.405%) será el punto de origen para realizar el Diseño Central Compuesto con el fin de realizar el análisis de Superficie de Respuesta.

### 8.3.3. Diseño Central Compuesto

En este nuevo punto (MGA=0.35% y H=0.405%) se realizó un diseño central compuesto, presentado en la Tabla 25, junto con la codificación de los valores reales en la Tabla 26.

*Tabla 25. Diseño Central Compuesto*

Orden Estandar	Corridas	PtType	MGA	Agua (H)
3	1	1	-1	1
6	2	-1	1.41421	0
9	3	0	0	0
4	4	1	1	1
5	5	-1	-1.41421	0
10	6	0	0	0
11	7	0	0	0
8	8	-1	0	1.41421
13	9	0	0	0
1	10	1	-1	-1
7	11	-1	0	-1.41421
12	12	0	0	0
2	13	1	1	-1

*Tabla 26. Codificación de los niveles para cada Factor – Diseño Central Compuesto*

Factor	Nivel Codificado (X <sub>i</sub> )	Porcentaje en Formula (%)	Codificación
Agua (H)	-1	0.305	$X_H = 10 \times H - 4.05$
	1	0.505	
MGA	-1	0.250	$X_{MGA} = 10 \times MGA - 3.5$
	1	0.450	

Para los tratamientos seleccionados a analizar por medio de Superficie de Respuesta se realizará el Método de Shakanoshita (descrito en el punto 6.7). Los gráficos Fuerza vs Tiempo obtenidos del texturómetro se presentan en el *Anexo 21*. Luego del análisis aplicando las ecuaciones de la Tabla 1, se presentan los resultados en la Tabla 27.

### 8.3.3.1. Adhesividad Método Shakanoshita

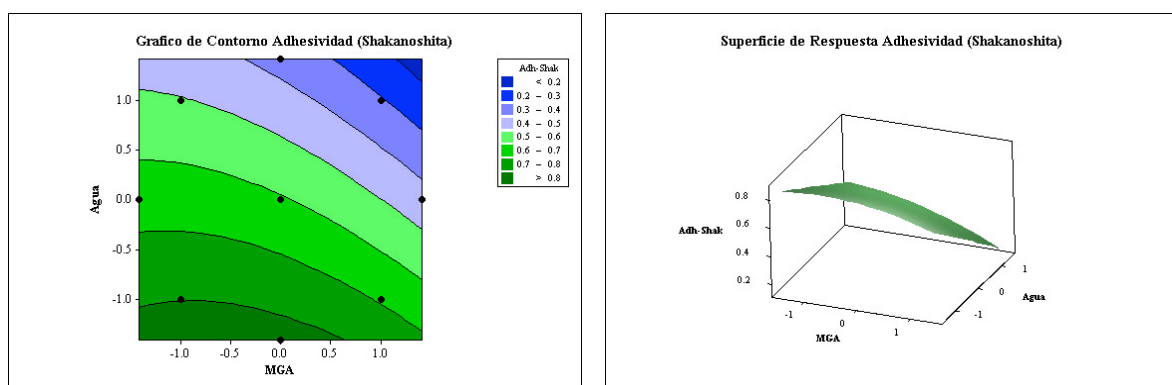
Los resultados numéricos para efectos, coeficientes y ANOVA de los datos de Adhesividad Método Shakanoshita se encuentran consignados en el *Anexo 22*, junto con los gráficos de residuales. Estos resultados indican que un efecto significativo del agua sobre la adhesividad ( $P=0.042$ ). Los demás factores e interacciones no se consideraron como significativas, sin embargo, se destaca como importante el efecto de MGA ( $P=0.299$ ).

En la figura 37 presenta el gráfico de contorno y superficie de respuesta para Adhesividad Método Shakanoshita. Se observa claramente una tendencia a reducir la adhesividad con el incremento del Agua y de MGA, sin embargo no se consiguió ningún mínimo en esta zona, y como se puede ver en el gráfico de superficie, los cambios son grandes a medida que se incrementa el agua y MGA.

*Tabla 27. Resultados Adhesividad – Diseño Central Compuesto*

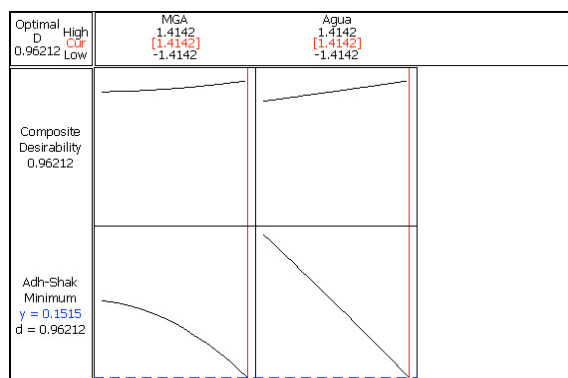
Corrida	Talco	Agua	Adhesividad Shakanoshita (mJ)	Dureza Shakanoshita (N)
1	-1	1	0.42	8.82
2	1.41421	0	0.29	8.31
3	0	0	0.41	10.48
4	1	1	0.34	7.63
5	-1.41421	0	0.67	12.78
6	0	0	0.56	10.28
7	0	0	0.59	10.36
8	0	1.41421	0.43	8.75
9	0	0	0.59	10.15
10	-1	-1	0.90	10.06
11	0	-1.41421	0.64	10.45
12	0	0	0.89	12.58
13	1	-1	0.91	14.43

*Figura 37. Gráficos de Contorno (Izq.) y Superficie de Respuesta (Der) para Adhesividad Método Shakanoshita – Etapa 2*



El gráfico de la superficie indica que el punto mínimo de adhesividad se encuentra en el nivel máximo de Agua y MGA. Para confirmar numéricamente este valor de adhesividad se realizó

Figura 38. Gráfico de Optimización para Adhesividad Método Shakanoshita



una Optimización en Minitab, presentada en la figura 38, en la cual se concluye que el punto óptimo para reducción de Adhesividad se encuentra en (1.414, 1.414) para niveles codificados o en Agua=0.546% y MGA=0.491% con un valor de 0.1515 mJ. Al comparar este valor con respecto a la adhesividad de la fórmula original (2.543 mJ, con el Método Shakanoshita) se concluye que se ha alcanzado una reducción del 94% en la adhesividad.

Este punto óptimo de Adhesividad encontrado no es un valor mínimo en la superficie, pues se puede apreciar que hay una tendencia a seguir reduciéndose en la medida que se incrementa aún más el Agua y MGA. Para concluir si esta nueva formulación es aceptable sensorialmente es necesario realizar un cruce de información con otra variable sensorial importante: la dureza.

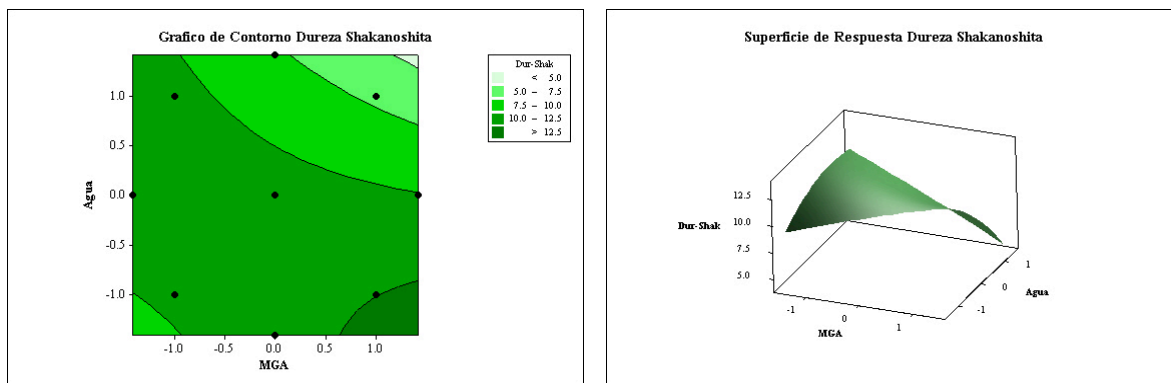
### 8.3.3.2. Dureza Método Shakanoshita

Los resultados numéricos para efectos, coeficientes y ANOVA de los datos de Dureza Método Shakanoshita se encuentran consignados en el Anexo 23, junto con los gráficos de residuales. Estos resultados indican que no hay un efecto significativo de los factores sobre la adhesividad. Sin embargo, se destaca el efecto del agua ( $P=0.062$ ) y la interacción MGA-Agua ( $P=0.139$ ).

En la figura 39 presenta el gráfico de contorno y superficie de respuesta para Dureza Método Shakanoshita. Se observa una tendencia a reducir la Dureza con el incremento del Agua y de MGA, tal como sucede con la adhesividad. Esto implica que a medida que se reduce la adhesividad se reduce la dureza.

En este momento es cuando debemos recurrir a la evaluación sensorial para determinar cual es el nivel de dureza aceptable por el consumidor.

Figura 39. Gráficos de Contorno (Izq.) y Superficie de Respuesta (Der) para Dureza Método Shakanoshita – Etapa 2



#### 8.3.4. Conclusiones de la Fase 2

Durante la prueba de máxima pendiente se realizó una comparación de Adhesividad (Prueba Shakanoshita) entre Metal y Resina Acrílica encontrando tendencias similares, pero con efectos significativos del Agua sólo en Metal. Los valores de Adhesividad al metal fueron aproximadamente 10 veces superiores a los encontrados sobre la Resina Acrílica.

Los resultados de Superficie de Respuesta confirman que existe un efecto significativo del *Agua* sobre la reducción de la adhesividad: a medida que se incrementa el nivel de agua se reduce la adhesividad. Aunque no se encontró como significativo el efecto de *MGA* sobre la adhesividad en los niveles evaluados, sí se consideró importante así como su interacción con el *Agua*.

El punto óptimo de mínima adhesividad obtenido en esta evaluación fue: Agua=0.546% y MGA=0.491%, donde se calculó una reducción de 94% en la adhesividad respecto la formula inicial. Sin embargo el análisis de la superficie de respuesta indica que la adhesividad de la goma de mascar seguirá disminuyendo en la medida que se incrementen los niveles de estos dos factores. Para concluir cuales pueden ser los valores más adecuados de *Agua* y *MGA* se deben incluir en el análisis otras variables que son igualmente importantes para el consumidor tales como la dureza. Al analizar la dureza por el método de Shakanoshita se concluye que ésta se reduce en la medida que se incrementa el Agua y MGA al igual que la adhesividad, lo que indica que existe una correlación proporcional entre dureza y adhesividad.

Se sugiere realizar un estudio de aceptación para determinar los niveles de aceptación a través del área analizada, con el fin de evidenciar si existe una relación entre la dureza/adhesividad y la aceptación del consumidor.

Comparando los resultados obtenidos con los reportados por *Shakanoshita* se encuentra que la adhesividad obtenida con las formulaciones realizadas en esta investigación son mucho menores a las encontradas por él (Shakanoshita, 2006). Sin embargo se debe resaltar que existe una diferencia entre estos métodos, pues en el método original se realiza un proceso de eliminación de sacarosa por amasado en agua tibia, exponiendo la goma base. Esto significa teóricamente que a medida que se agota el azúcar se incrementa la adhesividad por mayor contacto entre la goma base y el material acrílico.



## 8.4. Etapa 3: Análisis Sensorial

### 8.4.1. Round Table

Para esta evaluación se llevó a cabo el procedimiento descrito en el punto 6.8., donde fueron seleccionadas las muestras de las corridas 1, 4, 10 y 13 (Tabla 27), las cuales fueron codificadas (Tabla 28) para ser comparadas con la muestra control (formula inicial).

Los resultados de consenso del panel indican que la muestra 776 es mucho más dura que el control y se calificó como “arenosa”. La muestra 971 aunque tuvo una mordida inicial ligeramente mas dura, después del primer minuto se convierte más suave que el control. La muestra 293 fue identificada como muy parecido al control al igual que la 493, aunque esta última tuvo una dureza inicial ligeramente mayor. La muestra identificada como de mayor adhesividad fue la 293. Ninguna muestra fue calificada como “menos adhesiva” que el control. Los comentarios encontrados se depositan en la Tabla 28.

*Tabla 28 - Resultados del Round Table*

Corrida	MGA	Agua	Código	Comentarios generales respecto la muestra control
1	-1	1	776	Mucho más dura al inicio, mas arenosa, mas dura, siento partículas, sabor a goma base, menos dura
4	1	1	971	Mas suave, ligeramente mas pegajosa, muy similar al control, ligeramente mas dura, ligeramente menos dura, similar adhesividad al control
10	-1	-1	293	Muy parecido al control, muy dura al inicio, ligeramente menos dura, se pega a los dientes.
13	1	-1	493	Mordida inicial mas dura, mas pegajosa, similar a la referencia, muy parecido a 776, levemente menos dura que control.

Con estos resultados se puede apreciar que hay una tendencia a decir que la muestra es similar al control con el nivel de agua bajo y a reducir la dureza al aumentar el nivel de agua. La adhesividad no fue una variable de consenso. Sin embargo, sólo una persona en el panel que tiene implante dental pudo identificar diferencias en las muestras, al mencionar que se pegaba a los dientes, identificando claramente la de mayor adhesividad la muestra 293 correspondiente al nivel bajo de agua y MGA, lo cual coincide con los resultados del texturómetro.

### 8.4.2. Prueba de Diferenciación Simple

Para la prueba de diferenciación simple se siguió el proceso descrito en el punto 6.8. En esta prueba se quiere determinar si se encuentran diferencias significativas entre la “fórmula optimizada” (identificada como la de más reducción en adhesividad, que corresponde a los niveles altos de agua y MGA) y la “muestra patrón” (formula original). Los resultados indicaron que existe una diferencia significativa entre la muestra control y la fórmula optimizada con un 95% de confianza. En los comentarios libres de los panelistas se mencionó en su mayoría que la diferencia estaba en que la muestra optimizada era mas suave que la muestra patrón. No se mencionaron comentarios sobre adhesividad.

## 9. CONCLUSIONES FINALES

El agua actúa como un plastificante en la goma de mascar. En este estudio se confirma el efecto que el agua tiene sobre la textura de la goma de mascar reduciendo la dureza, adhesividad, gomosidad, masticabilidad, módulo de deformación (TPA), elasticidad, viscosidad y esfuerzo de deformación inicial (relajación). Sin embargo, se encontró que el agua en ciertas dosis también puede dar resultados más cercanos al comportamiento de un sólido, lo que puede implicar que se produce una disgregación de las partículas haciéndolas más fuertes individualmente. El agua se considera como el ingrediente que más afecta las características de textura en la goma de mascar, dado que el agua al situarse entre las partículas de la matriz amorfa, acentúa el incremento en movimiento y reduce la viscosidad.

Literatura previa sugería que los monoglicéridos Acetilados (MGA) podían aumentar la suavidad y extensibilidad de la goma base, como plastificante. En este estudio se concluye hay una fuerte tendencia de reducir la dureza (Shore) y la elasticidad de la goma de mascar y en interacción con el agua tiende a reducir la masticabilidad y cohesividad (TPA). Esto se debe a su propiedad lubricante, por la cual se reduce la fricción entre las partículas y permite que puedan moverse con mayor libertad.

Los componentes de relleno como el talco se adicionan para incrementar usualmente el modulo y mejorar la dureza del chicle por medio de su interacción con el elastómero. En este estudio no se comprobó un efecto significativo sobre la textura, pero se destacó su interacción con MGA y agua para aumentar la masticabilidad, gomosidad, adhesividad y dureza (TPA) así como su efecto individual en el incremento del módulo de elasticidad y viscosidad (relajación). Contrario a lo que se pensó inicialmente, el talco no redujo la adhesividad sino que la aumentó, esto se puede deber a que no se forma una capa protectora entre las partículas del chicle como sí sucede con los demás ingredientes, sino que tiende a unir las capas de la masa dado que las partículas de talco tienen una contextura porosa, la cual facilita su adherencia al elastómero de la goma base.

Previamente se publicó que la lecitina suaviza la goma, reduce la adhesividad, dureza y elasticidad. En este estudio no se pudo confirmar un efecto significativo de la lecitina sobre la textura de la goma de mascar, sin embargo sí se observó una tarea interesante en interacción con el agua para aumentar la masticabilidad, gomosidad, adhesividad, cohesividad y dureza (TPA) y tendencia a reducir el módulo de elasticidad y viscosidad (relajación), destacándose también su interacción con el talco para disminuir la viscosidad (Peleg) y su interacción con MGA y talco para reducir la dureza (Shore). Todo indica que la lecitina hidratada tiene un efecto mayor que la lecitina sin hidratar sobre la textura de la goma de mascar, al ayudar a dispersar mejor los componentes de la masa de goma.

Se puede concluir que el único efecto significativo identificado en reducir la adhesividad fue el producido por el *Agua*, siendo consistente este efecto en la evaluación de la adhesividad por TPA, Shakanoshita en resina acrílica y en metal. Los monoglicéridos acetilados (MGA) se evaluaron como el ingrediente que logra mejor sinergia con el agua en la reducción de la adhesividad. Después de determinar dos puntos de máxima pendiente, con la conjugación de Agua y MGA se realizó un diseño central compuesto, con lo cual se puede concluir que a medida que se incrementa el nivel de agua, se reduce la adhesividad, al igual que la dureza.

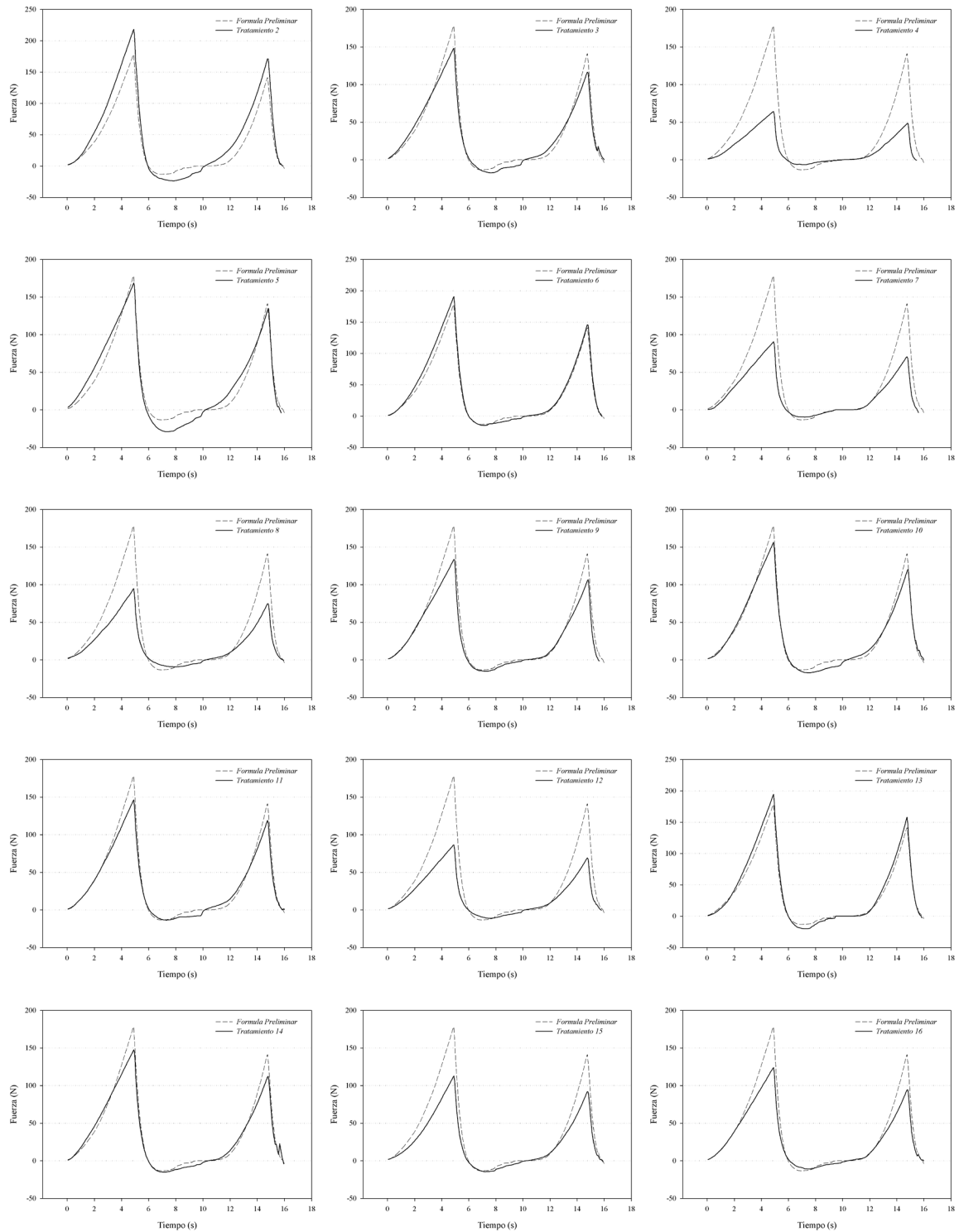
Basado en lo reportado por Shakanoshita, el agua forma una capa sobre la superficie del chicle, que impide que la superficie del émbolo (o de cualquier superficie) se adhiera a la masa de goma. Apoyando esta conclusión, se observa que a medida que aumenta la cantidad de agua, se puede formar una capa de humedad mayor en la superficie, reduciendo en mayor medida la adhesividad del elastómero.

El análisis de Optimización indica que la fórmula más adecuada incluye 0.546% de agua y 0.491% de MGA, con la cual se obtiene una reducción en la adhesividad del 94% respecto la fórmula original (sin Agua y sin MGA).

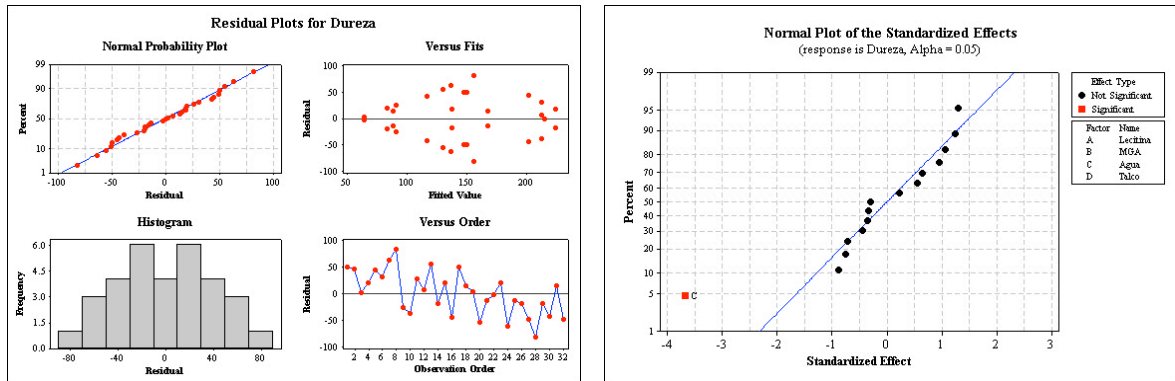
Luego del análisis sensorial de diferenciación simple se concluyó que existe una diferencia entre la formula optimizada y la formula original con un 95% de confianza, donde se indica que la principal diferencia está en la dureza de la goma, siendo más suave la formula optimizada que el control.

En el round table se concluye que las formulaciones con nivel bajo de agua (de la etapa 2) se consideran similares al control, mientras que se identificó una reducción de la dureza al incrementar el nivel de agua. Se identificó la muestra más adhesiva aquella con los niveles menores de agua y MGA, lo cual coincide con los resultados del texturómetro.

**Anexo 1. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por TPA para los diferentes tratamientos de la Etapa 1, comparadas con la Formula Preliminar.**



## Anexo 2. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Coeficientes y ANOVA para Dureza (D) por TPA en la Etapa 1



### Efectos y Coeficientes para la Dureza - Etapa 1

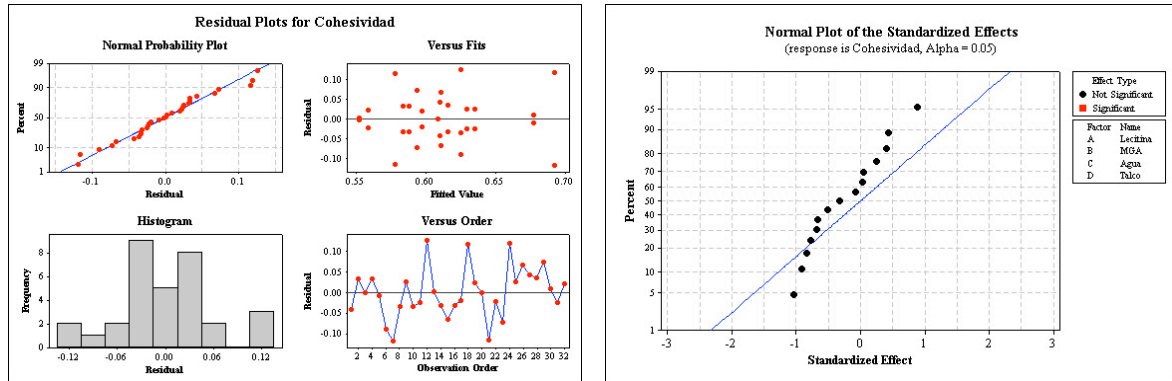
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		145.70	10.31	14.13	0.000
Lecitina		-6.76	3.38	-0.33	0.747
MGA		-14.97	7.48	-0.73	0.479
Agua		-76.16	38.08	-3.69	0.002
Talco		4.67	2.33	0.23	0.824
Lecitina*MGA		-9.25	4.63	-0.45	0.660
Lecitina*Agua		25.65	12.83	1.24	0.232
Lecitina*Talco		22.08	11.04	1.07	0.300
MGA*Agua		-15.45	7.73	-0.75	0.465
MGA*Talco		11.44	5.72	0.55	0.587
Agua*Talco		-6.34	3.17	-0.31	0.763
Lecitina*MGA*Agua		19.71	9.85	0.96	0.354
Lecitina*MGA*Talco		-18.04	9.02	-0.87	0.395
Lecitina*Agua*Talco		-7.42	3.71	-0.36	0.724
MGA*Agua*Talco		26.86	13.43	1.30	0.211
Lecitina*MGA*Agua*Talco		13.31	6.66	0.65	0.528

S = 57.1708      PRESS = \*  
R-Sq = 58.87%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 20.31%

### Analisis de Varianza para Dureza - Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	49058	47927.8	11982.0	3.67	0.027
Lecitina	1	349	351.4	351.4	0.11	0.747
MGA	1	1831	1720.6	1720.6	0.53	0.479
Agua	1	46207	44546.0	44546.0	13.63	0.002
Talco	1	671	167.2	167.2	0.05	0.824
2-Way Interactions	6	12571	12444.4	2074.1	0.63	0.701
Lecitina*MGA	1	582	657.3	657.3	0.20	0.660
Lecitina*Agua	1	5000	5054.4	5054.4	1.55	0.232
Lecitina*Talco	1	3165	3742.5	3742.5	1.15	0.300
MGA*Agua	1	2101	1833.9	1833.9	0.56	0.465
MGA*Talco	1	1249	1005.2	1005.2	0.31	0.587
Agua*Talco	1	473	308.3	308.3	0.09	0.763
3-Way Interactions	4	11857	11413.8	2853.5	0.87	0.502
Lecitina*MGA*Agua	1	2988	2982.5	2982.5	0.91	0.354
Lecitina*MGA*Talco	1	2731	2498.8	2498.8	0.76	0.395
Lecitina*Agua*Talco	1	367	423.0	423.0	0.13	0.724
MGA*Agua*Talco	1	5772	5540.7	5540.7	1.70	0.211
4-Way Interactions	1	1361	1361.3	1361.3	0.42	0.528
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	1361	1361.3	1361.3	0.42	0.528
Residual Error	16	52296	52296.1	3268.5		
Pure Error	16	52296	52296.1	3268.5		
Total	31	127143				

### Anexo 3. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Cohesividad (C) en la Etapa 1



#### Efectos y Coeficientes para la Cohesividad Etapa 1

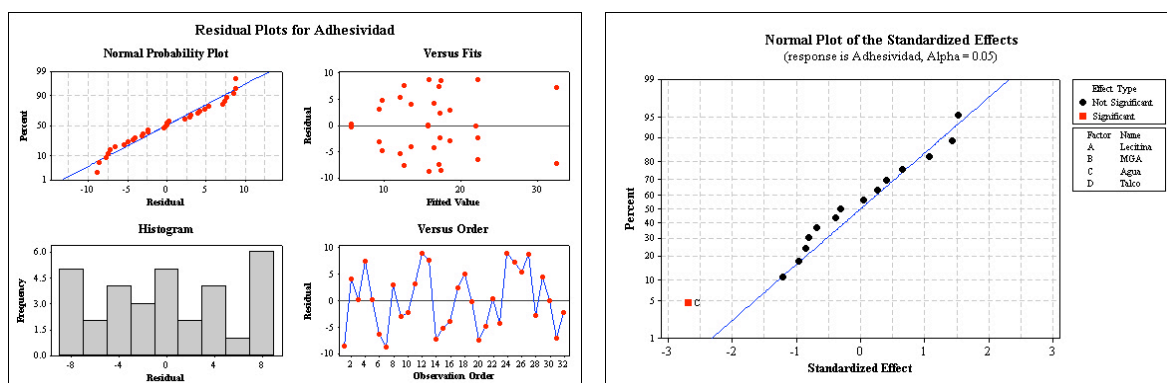
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.60995	0.01530	39.86	0.000
Lecitina	0.01223	0.00611	0.01530	0.40	0.695
MGA	-0.02023	-0.01011	0.01530	-0.66	0.518
Agua	0.00773	0.00386	0.01530	0.25	0.804
Talco	0.00102	0.00051	0.01530	0.03	0.974
Lecitina*MGA	-0.02390	-0.01195	0.01530	-0.78	0.446
Lecitina*Agua	0.02715	0.01357	0.01530	0.89	0.388
Lecitina*Talco	-0.02565	-0.01282	0.01530	-0.84	0.414
MGA*Agua	-0.03190	-0.01595	0.01530	-1.04	0.313
MGA*Talco	0.00140	0.00070	0.01530	0.05	0.964
Agua*Talco	-0.00990	-0.00495	0.01530	-0.32	0.751
Lecitina*MGA*Agua	-0.02798	-0.01399	0.01530	-0.91	0.374
Lecitina*MGA*Talco	-0.01577	-0.00789	0.01530	-0.52	0.613
Lecitina*Agua*Talco	-0.00248	-0.00124	0.01530	-0.08	0.936
MGA*Agua*Talco	0.01348	0.00674	0.01530	0.44	0.666
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-0.02110	-0.01055	0.01530	-0.69	0.500

S = 0.0848171 PRESS = \*  
R-Sq = 27.28% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 0.00%

#### Análisis de Varianza para Cohesividad Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.004447	0.004499	0.00112487	0.16	0.957
Lecitina	1	0.001001	0.001149	0.00114856	0.16	0.695
MGA	1	0.002945	0.003143	0.00314280	0.44	0.518
Agua	1	0.000358	0.000459	0.00045880	0.06	0.804
Talco	1	0.000143	0.000008	0.00000800	0.00	0.974
2-Way Interactions	6	0.024962	0.026630	0.00443840	0.62	0.714
Lecitina*MGA	1	0.004889	0.004385	0.00438536	0.61	0.446
Lecitina*Agua	1	0.006306	0.005659	0.00565936	0.79	0.388
Lecitina*Talco	1	0.005339	0.005051	0.00505120	0.70	0.414
MGA*Agua	1	0.007856	0.007813	0.00781320	1.09	0.313
MGA*Talco	1	0.000000	0.000015	0.00001496	0.00	0.964
Agua*Talco	1	0.000572	0.000752	0.00075208	0.10	0.751
3-Way Interactions	4	0.010345	0.009619	0.00240487	0.33	0.851
Lecitina*MGA*Agua	1	0.006840	0.006012	0.00601216	0.84	0.374
Lecitina*MGA*Talco	1	0.002267	0.001910	0.00191016	0.27	0.613
Lecitina*Agua*Talco	1	0.000010	0.000047	0.00004720	0.01	0.936
MGA*Agua*Talco	1	0.001228	0.001395	0.00139536	0.19	0.666
4-Way Interactions	1	0.003421	0.003421	0.00342056	0.48	0.500
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	0.003421	0.003421	0.00342056	0.48	0.500
Residual Error	16	0.115103	0.115103	0.00719395		
Pure Error	16	0.115103	0.115103	0.00719395		
Total	31	0.158278				

## Anexo 4. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad (A) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para Adhesividad Etapa 1

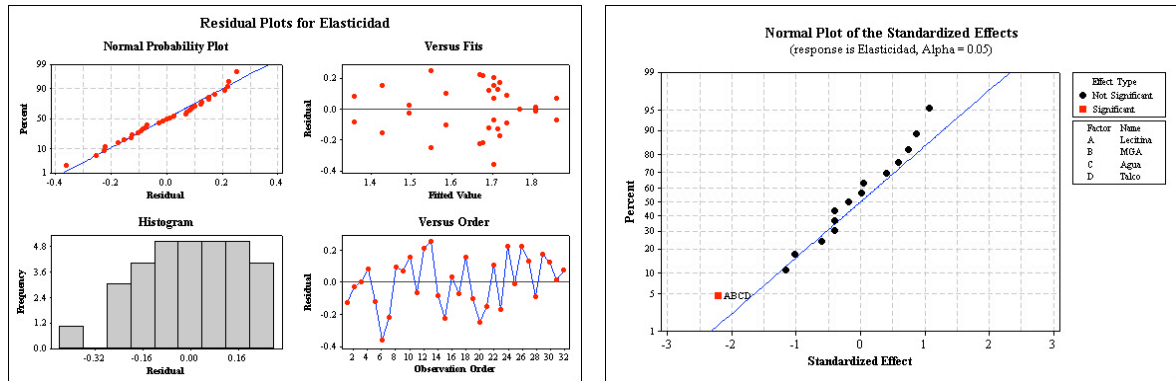
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		16.126	1.416	11.39	0.000
Lecitina	-0.863	-0.431	1.416	-0.30	0.765
MGA	-2.311	-1.156	1.416	-0.82	0.427
Agua	-7.644	-3.822	1.416	-2.70	0.016
Talco	1.857	0.929	1.416	0.66	0.521
Lecitina*MGA	1.137	0.569	1.416	0.40	0.693
Lecitina*Agua	4.336	2.168	1.416	1.53	0.145
Lecitina*Talco	-1.935	-0.967	1.416	-0.68	0.504
MGA*Agua	-2.435	-1.217	1.416	-0.86	0.403
MGA*Talco	-1.109	-0.554	1.416	-0.39	0.701
Agua*Talco	-2.754	-1.377	1.416	-0.97	0.345
Lecitina*MGA*Agua	0.115	0.057	1.416	0.04	0.968
Lecitina*MGA*Talco	0.737	0.369	1.416	0.26	0.798
Lecitina*Agua*Talco	3.049	1.524	1.416	1.08	0.298
MGA*Agua*Talco	4.079	2.039	1.416	1.44	0.169
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-3.430	-1.715	1.416	-1.21	0.244

S = 7.85046      PRESS = \*  
R-Sq = 54.08%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 11.03%

### Análisis de Varianza para Adhesividad Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	557.43	546.718	136.680	2.22	0.113
Lecitina	1	6.16	5.715	5.715	0.09	0.765
MGA	1	42.19	41.031	41.031	0.67	0.427
Agua	1	469.28	448.746	448.746	7.28	0.016
Talco	1	39.80	26.498	26.498	0.43	0.521
2-Way Interactions	6	305.12	323.276	53.879	0.87	0.535
Lecitina*MGA	1	12.80	9.931	9.931	0.16	0.693
Lecitina*Agua	1	142.04	144.373	144.373	2.34	0.145
Lecitina*Talco	1	37.42	28.748	28.748	0.47	0.504
MGA*Agua	1	38.37	45.536	45.536	0.74	0.403
MGA*Talco	1	8.21	9.442	9.442	0.15	0.701
Agua*Talco	1	66.27	58.264	58.264	0.95	0.345
3-Way Interactions	4	208.37	210.888	52.722	0.86	0.511
Lecitina*MGA*Agua	1	0.52	0.102	0.102	0.00	0.968
Lecitina*MGA*Talco	1	2.52	4.175	4.175	0.07	0.798
Lecitina*Agua*Talco	1	85.82	71.390	71.390	1.16	0.298
MGA*Agua*Talco	1	119.51	127.775	127.775	2.07	0.169
4-Way Interactions	1	90.36	90.362	90.362	1.47	0.244
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	90.36	90.362	90.362	1.47	0.244
Residual Error	16	986.08	986.076	61.630		
Pure Error	16	986.08	986.076	61.630		
Total	31	2147.37				

## Anexo 5. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Elasticidad (E) en la Etapa 1



### Efectos estimados y coeficientes para Elasticidad Etapa 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.65368	0.03955	41.81	0.000
Lecitina	-0.03185	-0.01593	0.03955	-0.40	0.692
MGA	0.08510	0.04255	0.03955	1.08	0.298
Agua	-0.01460	-0.00730	0.03955	-0.18	0.856
Talco	-0.03240	-0.01620	0.03955	-0.41	0.688
Lecitina*MGA	-0.03235	-0.01618	0.03955	-0.41	0.688
Lecitina*Agua	0.03210	0.01605	0.03955	0.41	0.690
Lecitina*Talco	-0.09235	-0.04618	0.03955	-1.17	0.260
MGA*Agua	-0.04760	-0.02380	0.03955	-0.60	0.556
MGA*Talco	0.04660	0.02330	0.03955	0.59	0.564
Agua*Talco	0.00340	0.00170	0.03955	0.04	0.966
Lecitina*MGA*Agua	-0.08065	-0.04032	0.03955	-1.02	0.323
Lecitina*MGA*Talco	0.00090	0.00045	0.03955	0.01	0.991
Lecitina*Agua*Talco	0.06885	0.03443	0.03955	0.87	0.397
MGA*Agua*Talco	0.05915	0.02957	0.03955	0.75	0.465
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-0.17565	-0.08782	0.03955	-2.22	0.041

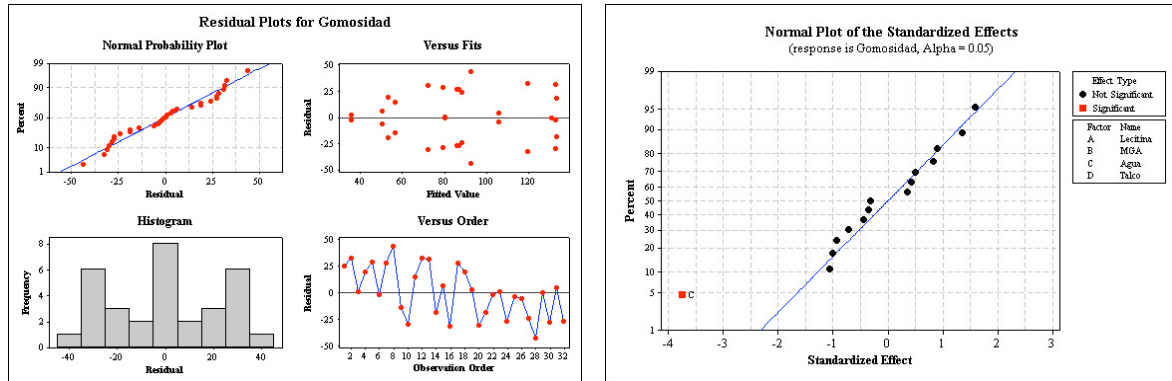
S = 0.219207      PRESS = \*  
R-Sq = 41.74%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 0.00%

### Análisis de Varianza para Elasticidad Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.06681	0.066648	0.016662	0.35	0.842
Lecitina	1	0.00622	0.007793	0.007793	0.16	0.692
MGA	1	0.05265	0.055624	0.055624	1.16	0.298
Agua	1	0.00090	0.001638	0.001638	0.03	0.856
Talco	1	0.00704	0.008060	0.008060	0.17	0.688
2-Way Interactions	6	0.11194	0.131930	0.021988	0.46	0.829
Lecitina*MGA	1	0.00735	0.008039	0.008039	0.17	0.688
Lecitina*Agua	1	0.00728	0.007916	0.007916	0.16	0.690
Lecitina*Talco	1	0.06786	0.065505	0.065505	1.36	0.260
MGA*Agua	1	0.01276	0.017404	0.017404	0.36	0.556
MGA*Talco	1	0.01657	0.016681	0.016681	0.35	0.564
Agua*Talco	1	0.00012	0.000089	0.000089	0.00	0.966
3-Way Interactions	4	0.13518	0.115929	0.028982	0.60	0.666
Lecitina*MGA*Agua	1	0.06734	0.049949	0.049949	1.04	0.323
Lecitina*MGA*Talco	1	0.00021	0.000006	0.000006	0.00	0.991
Lecitina*Agua*Talco	1	0.04673	0.036410	0.036410	0.76	0.397
MGA*Agua*Talco	1	0.02090	0.026866	0.026866	0.56	0.465
4-Way Interactions	1	0.23694	0.236939	0.236939	4.93	0.041
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	0.23694	0.236939	0.236939	4.93	0.041
Residual Error	16	0.76882	0.768824	0.048052		
Pure Error	16	0.76882	0.768824	0.048052		
Total	31	1.31969				



## Anexo 6. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Gomosidad (G) en la Etapa 1



### Efectos estimados y coeficientes para Gomosidad Etapa 1

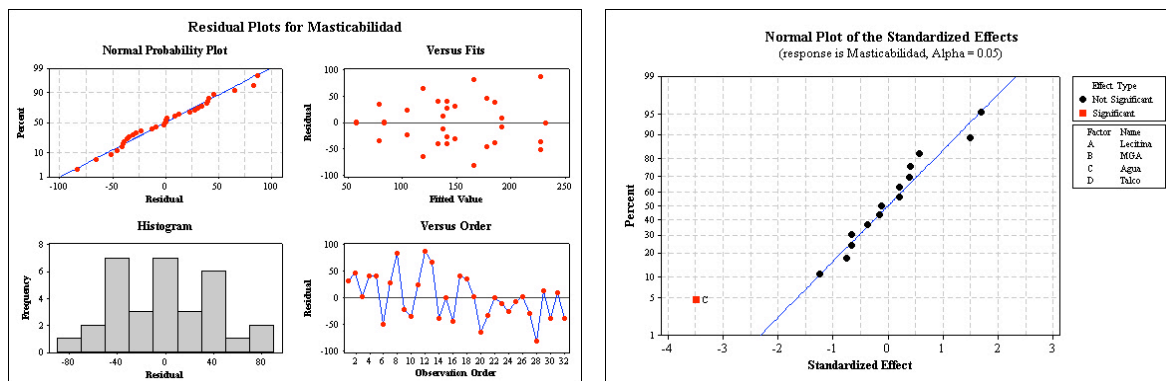
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		87.79	5.980	14.68	0.000
Lecitina	-5.35	-2.67	5.980	-0.45	0.661
MGA	-11.15	-5.57	5.980	-0.93	0.365
Agua	-44.85	-22.43	5.980	-3.75	0.002
Talco	4.26	2.13	5.980	0.36	0.726
Lecitina*MGA	-8.62	-4.31	5.980	-0.72	0.482
Lecitina*Agua	19.06	9.53	5.980	1.59	0.131
Lecitina*Talco	10.83	5.42	5.980	0.91	0.378
MGA*Agua	-12.10	-6.05	5.980	-1.01	0.327
MGA*Talco	5.11	2.56	5.980	0.43	0.675
Agua*Talco	-4.34	-2.17	5.980	-0.36	0.721
Lecitina*MGA*Agua	9.87	4.93	5.980	0.82	0.422
Lecitina*MGA*Talco	-12.68	-6.34	5.980	-1.06	0.305
Lecitina*Agua*Talco	-3.75	-1.87	5.980	-0.31	0.758
MGA*Agua*Talco	16.22	8.11	5.980	1.36	0.194
Lecitina*MGA*Agua*Talco	6.08	3.04	5.980	0.51	0.618

S = 33.1445 PRESS = \*  
R-Sq = 61.57% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 25.53%

### Análisis de Varianza para Gomosidad Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	17820.0	17265.4	4316.4	3.93	0.021
Lecitina	1	237.7	219.6	219.6	0.20	0.661
MGA	1	976.0	954.7	954.7	0.87	0.365
Agua	1	16168.8	15450.2	15450.2	14.06	0.002
Talco	1	437.4	139.4	139.4	0.13	0.726
2-Way Interactions	6	5786.0	5633.4	938.9	0.85	0.548
Lecitina*MGA	1	547.6	570.5	570.5	0.52	0.482
Lecitina*Agua	1	2816.8	2788.7	2788.7	2.54	0.131
Lecitina*Talco	1	719.0	901.4	901.4	0.82	0.378
MGA*Agua	1	1251.7	1123.8	1123.8	1.02	0.327
MGA*Talco	1	251.5	200.6	200.6	0.18	0.675
Agua*Talco	1	199.6	144.8	144.8	0.13	0.721
3-Way Interactions	4	4265.2	4166.4	1041.6	0.95	0.462
Lecitina*MGA*Agua	1	751.7	747.6	747.6	0.68	0.422
Lecitina*MGA*Talco	1	1342.3	1234.2	1234.2	1.12	0.305
Lecitina*Agua*Talco	1	87.0	108.0	108.0	0.10	0.758
MGA*Agua*Talco	1	2084.2	2019.8	2019.8	1.84	0.194
4-Way Interactions	1	283.6	283.6	283.6	0.26	0.618
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	283.6	283.6	283.6	0.26	0.618
Residual Error	16	17576.9	17576.9	1098.6		
Pure Error	16	17576.9	17576.9	1098.6		
Total	31	45731.7				

## Anexo 7. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Masticabilidad (M) en la Etapa 1



### Efectos estimados y coeficientes para Masticabilidad Etapa 1

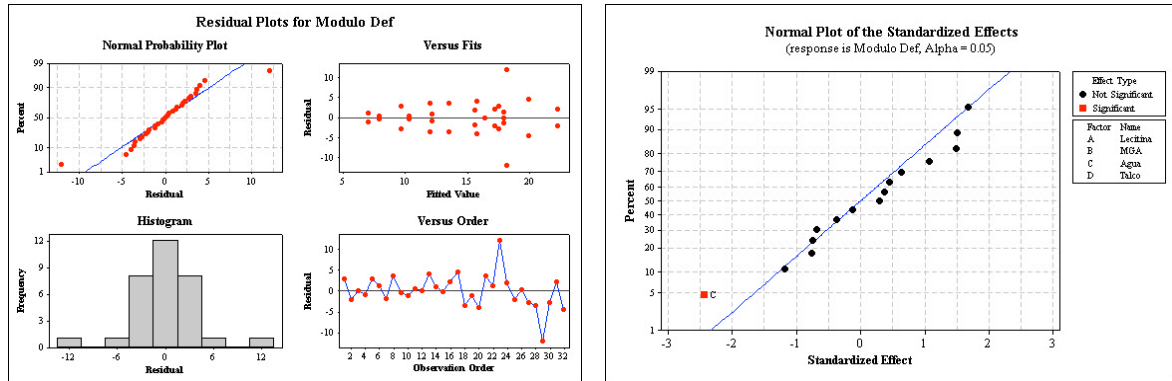
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		145.39	10.63	13.68	0.000
Lecitina	-14.20	-7.10	10.63	-0.67	0.513
MGA	-7.80	-3.90	10.63	-0.37	0.718
Agua	-74.53	-37.26	10.63	-3.51	0.003
Talco	4.63	2.31	10.63	0.22	0.830
Lecitina*MGA	-13.94	-6.97	10.63	-0.66	0.521
Lecitina*Agua	36.02	18.01	10.63	1.69	0.109
Lecitina*Talco	8.19	4.10	10.63	0.39	0.705
MGA*Agua	-26.37	-13.18	10.63	-1.24	0.233
MGA*Talco	8.74	4.37	10.63	0.41	0.686
Agua*Talco	-3.28	-1.64	10.63	-0.15	0.879
Lecitina*MGA*Agua	12.29	6.15	10.63	0.58	0.571
Lecitina*MGA*Talco	-15.94	-7.97	10.63	-0.75	0.464
Lecitina*Agua*Talco	4.61	2.31	10.63	0.22	0.831
MGA*Agua*Talco	31.72	15.86	10.63	1.49	0.155
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-2.42	-1.21	10.63	-0.11	0.911

S = 58.8904 PRESS = \*  
R-Sq = 57.82% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 18.28%

### Análisis de Varianza para Masticabilidad Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	46977	45479.3	11369.8	3.28	0.038
Lecitina	1	1542	1549.3	1549.3	0.45	0.513
MGA	1	528	467.8	467.8	0.13	0.718
Agua	1	44054	42659.0	42659.0	12.30	0.003
Talco	1	853	164.5	164.5	0.05	0.830
2-Way Interactions	6	17841	18040.5	3006.8	0.87	0.540
Lecitina*MGA	1	1350	1491.8	1491.8	0.43	0.521
Lecitina*Agua	1	9893	9962.5	9962.5	2.87	0.109
Lecitina*Talco	1	246	515.2	515.2	0.15	0.705
MGA*Agua	1	5431	5340.4	5340.4	1.54	0.233
MGA*Talco	1	759	586.7	586.7	0.17	0.686
Agua*Talco	1	161	82.4	82.4	0.02	0.879
3-Way Interactions	4	11210	11243.9	2811.0	0.81	0.537
Lecitina*MGA*Agua	1	1008	1160.7	1160.7	0.33	0.571
Lecitina*MGA*Talco	1	2237	1950.6	1950.6	0.56	0.464
Lecitina*Agua*Talco	1	271	163.4	163.4	0.05	0.831
MGA*Agua*Talco	1	7694	7728.8	7728.8	2.23	0.155
4-Way Interactions	1	45	45.1	45.1	0.01	0.911
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	45	45.1	45.1	0.01	0.911
Residual Error	16	55489	55489.2	3468.1		
Pure Error	16	55489	55489.2	3468.1		
Total	31	131563				

## Anexo 8. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Módulo de Deformación (MD) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para Módulo de Deformación Etapa 1

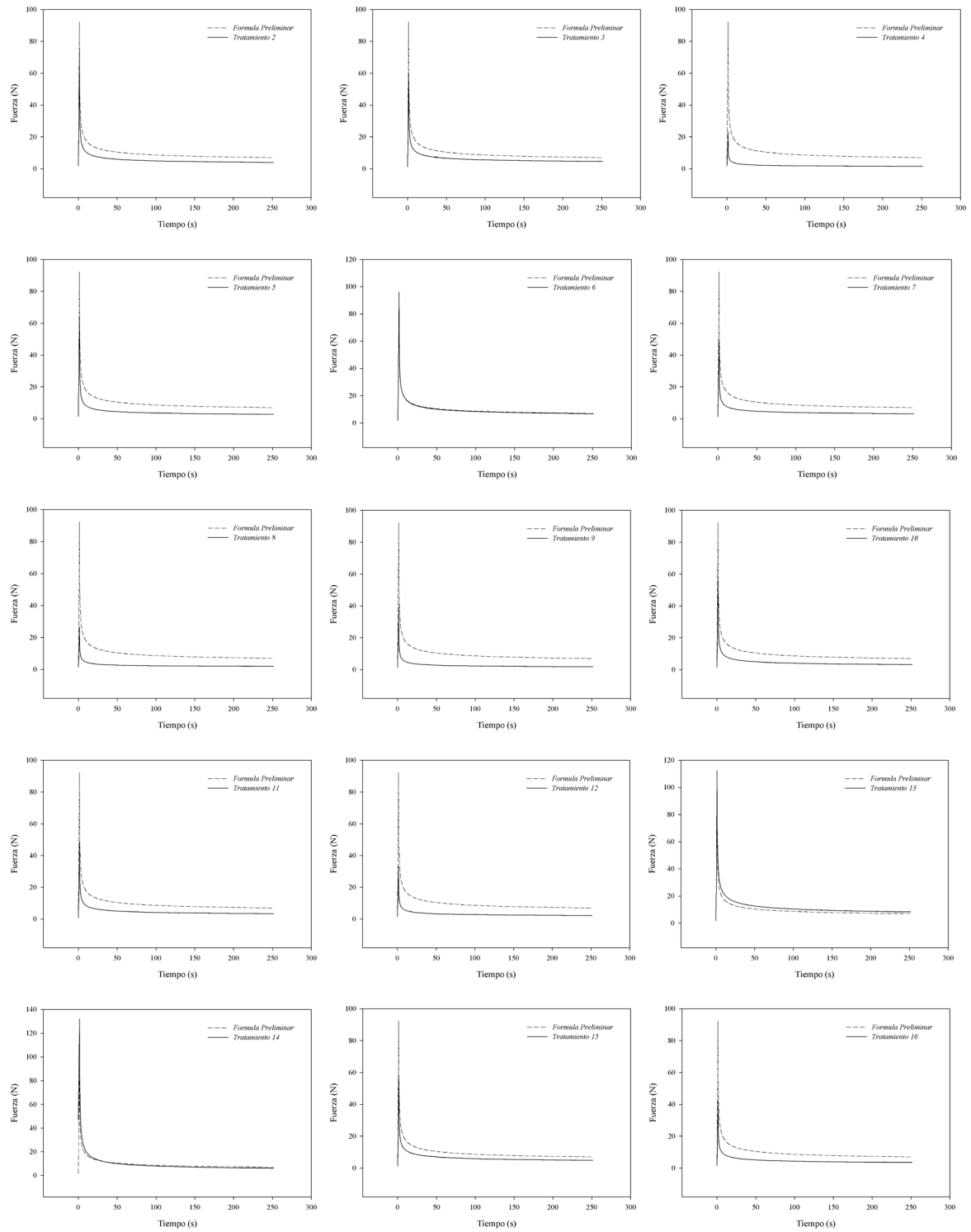
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		14.589	0.9932	14.69	0.000
Lecitina	-0.750	-0.375	0.9932	-0.38	0.711
MGA	-2.339	-1.169	0.9932	-1.18	0.256
Agua	-4.850	-2.425	0.9932	-2.44	0.027
Talco	0.602	0.301	0.9932	0.30	0.766
Lecitina*MGA	2.959	1.480	0.9932	1.49	0.156
Lecitina*Agua	2.127	1.064	0.9932	1.07	0.300
Lecitina*Talco	-0.252	-0.126	0.9932	-0.13	0.901
MGA*Agua	-1.481	-0.741	0.9932	-0.75	0.467
MGA*Talco	3.329	1.664	0.9932	1.68	0.113
Agua*Talco	-1.519	-0.759	0.9932	-0.76	0.456
Lecitina*MGA*Agua	1.279	0.640	0.9932	0.64	0.529
Lecitina*MGA*Talco	2.995	1.498	0.9932	1.51	0.151
Lecitina*Agua*Talco	0.897	0.448	0.9932	0.45	0.658
MGA*Agua*Talco	0.740	0.370	0.9932	0.37	0.714
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-1.358	-0.679	0.9932	-0.68	0.504

S = 5.50479      PRESS = \*  
R-Sq = 54.85%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 12.52%

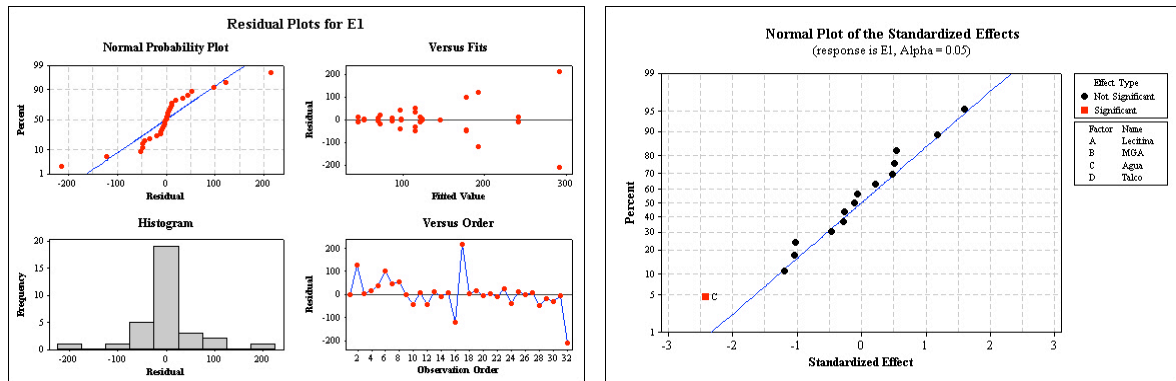
### Análisis de Varianza para Módulo de Deformación Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	245.54	238.858	59.715	1.97	0.148
Lecitina	1	5.70	4.321	4.321	0.14	0.711
MGA	1	40.30	41.999	41.999	1.39	0.256
Agua	1	195.56	180.671	180.671	5.96	0.027
Talco	1	3.97	2.781	2.781	0.09	0.766
2-Way Interactions	6	243.55	230.511	38.418	1.27	0.326
Lecitina*MGA	1	68.00	67.261	67.261	2.22	0.156
Lecitina*Agua	1	37.65	34.749	34.749	1.15	0.300
Lecitina*Talco	1	1.36	0.486	0.486	0.02	0.901
MGA*Agua	1	18.19	16.856	16.856	0.56	0.467
MGA*Talco	1	94.93	85.099	85.099	2.81	0.113
Agua*Talco	1	23.42	17.709	17.709	0.58	0.456
3-Way Interactions	4	85.68	89.129	22.282	0.74	0.581
Lecitina*MGA*Agua	1	7.54	12.566	12.566	0.41	0.529
Lecitina*MGA*Talco	1	67.16	68.896	68.896	2.27	0.151
Lecitina*Agua*Talco	1	7.36	6.178	6.178	0.20	0.658
MGA*Agua*Talco	1	3.62	4.206	4.206	0.14	0.714
4-Way Interactions	1	14.17	14.171	14.171	0.47	0.504
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	14.17	14.171	14.171	0.47	0.504
Residual Error	16	484.84	484.843	30.303		
Pure Error	16	484.84	484.843	30.303		
Total	31	1073.77				

**Anexo 9. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por la Prueba de Relajación para los diferentes tratamientos de la Etapa 1, comparadas con la Formula Preliminar.**



## Anexo 10. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Módulo de Elasticidad del Primer Elemento: $E_1$ (Maxwell Generalizado) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $E_1$ Etapa 1

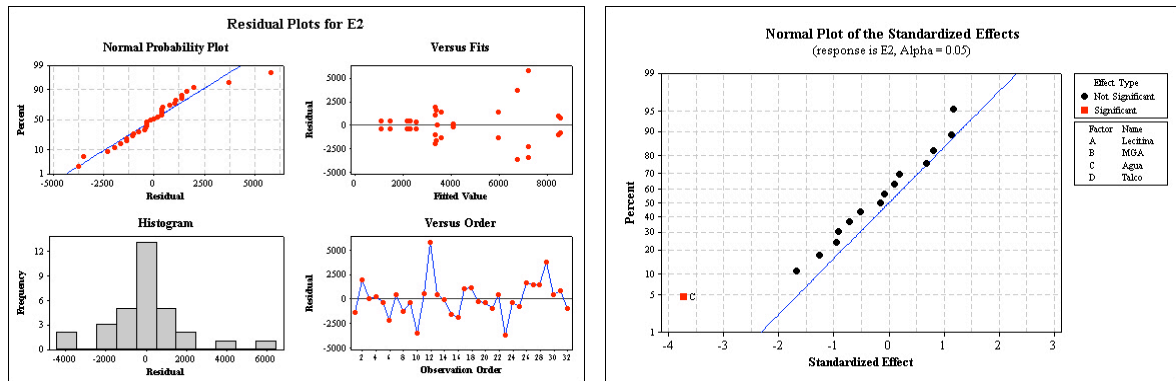
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		127.43	17.38	7.33	0.000
Lecitina	16.56	8.28	17.38	0.48	0.640
MGA	-9.40	-4.70	17.38	-0.27	0.790
Agua	-84.50	-42.25	17.38	-2.43	0.027
Talco	41.30	20.65	17.38	1.19	0.252
Lecitina*MGA	18.78	9.39	17.38	0.54	0.596
Lecitina*Agua	-4.05	-2.02	17.38	-0.12	0.909
Lecitina*Talco	55.51	27.76	17.38	1.60	0.130
MGA*Agua	-35.48	-17.74	17.38	-1.02	0.323
MGA*Talco	17.72	8.86	17.38	0.51	0.617
Agua*Talco	-36.49	-18.24	17.38	-1.05	0.309
Lecitina*MGA*Agua	-1.94	-0.97	17.38	-0.06	0.956
Lecitina*MGA*Talco	-16.25	-8.12	17.38	-0.47	0.646
Lecitina*Agua*Talco	-41.63	-20.82	17.38	-1.20	0.248
MGA*Agua*Talco	-9.57	-4.78	17.38	-0.28	0.787
Lecitina*MGA*Agua*Talco	7.68	3.84	17.38	0.22	0.828

S = 96.3188      PRESS = \*  
R-Sq = 49.22%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 1.62%

### Análisis de Varianza para $E_1$ Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	75959	75291	18822.7	2.03	0.139
Lecitina	1	1698	2106	2106.3	0.23	0.640
MGA	1	439	678	678.1	0.07	0.790
Agua	1	59842	54834	54833.7	5.91	0.027
Talco	1	13980	13102	13102.3	1.41	0.252
2-Way Interactions	6	50721	50793	8465.5	0.91	0.511
Lecitina*MGA	1	3031	2710	2709.7	0.29	0.596
Lecitina*Agua	1	182	126	125.7	0.01	0.909
Lecitina*Talco	1	23146	23667	23666.9	2.55	0.130
MGA*Agua	1	11787	9668	9668.3	1.04	0.323
MGA*Talco	1	2177	2411	2410.9	0.26	0.617
Agua*Talco	1	10397	10224	10224.0	1.10	0.309
3-Way Interactions	4	16759	16711	4177.7	0.45	0.771
Lecitina*MGA*Agua	1	50	29	29.0	0.00	0.956
Lecitina*MGA*Talco	1	2269	2027	2027.5	0.22	0.646
Lecitina*Agua*Talco	1	13780	13310	13310.0	1.43	0.248
MGA*Agua*Talco	1	660	703	703.1	0.08	0.787
4-Way Interactions	1	452	452	452.4	0.05	0.828
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	452	452	452.4	0.05	0.828
Residual Error	16	148437	148437	9277.3		
Pure Error	16	148437	148437	9277.3		
Total	31	292328				

## Anexo 11. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Módulo de Elasticidad del Segundo Elemento $E_2$ (Modelo Maxwell Generalizado) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $E_2$

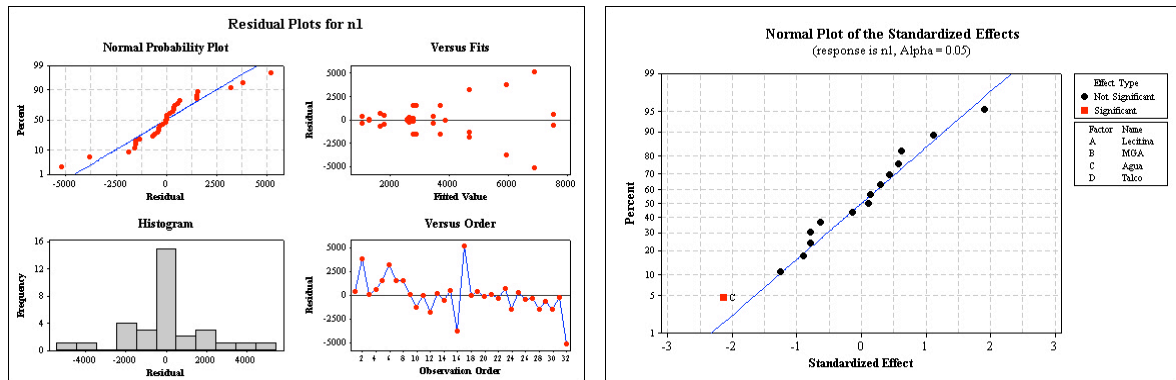
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4240	467.4	9.07	0.000
Lecitina	183	92	467.4	0.20	0.847
MGA	-84	-42	467.4	-0.09	0.929
Agua	-3493	-1746	467.4	-3.74	0.002
Talco	640	320	467.4	0.68	0.503
Lecitina*MGA	1064	532	467.4	1.14	0.272
Lecitina*Agua	-492	-246	467.4	-0.53	0.606
Lecitina*Talco	-1189	-595	467.4	-1.27	0.221
MGA*Agua	-664	-332	467.4	-0.71	0.488
MGA*Talco	93	46	467.4	0.10	0.922
Agua*Talco	-1570	-785	467.4	-1.68	0.113
Lecitina*MGA*Agua	-144	-72	467.4	-0.15	0.880
Lecitina*MGA*Talco	753	376	467.4	0.81	0.432
Lecitina*Agua*Talco	1105	552	467.4	1.18	0.255
MGA*Agua*Talco	-856	-428	467.4	-0.92	0.373
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-898	-449	467.4	-0.96	0.351

S = 2590.46 PRESS = \*  
R-Sq = 62.83% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 27.98%

### Análisis de Varianza para $E_2$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	113707096	100884519	25221130	3.76	0.024
Lecitina	1	23677	257846	257846	0.04	0.847
MGA	1	187695	54786	54786	0.01	0.929
Agua	1	111333512	93697336	93697336	13.96	0.002
Talco	1	2162213	3145401	3145401	0.47	0.503
2-Way Interactions	6	41054493	41243005	6873834	1.02	0.445
Lecitina*MGA	1	5923073	8688460	8688460	1.29	0.272
Lecitina*Agua	1	680027	1862336	1862336	0.28	0.606
Lecitina*Talco	1	10781133	10866093	10866093	1.62	0.221
MGA*Agua	1	5017708	3382221	3382221	0.50	0.488
MGA*Talco	1	5717	66283	66283	0.01	0.922
Agua*Talco	1	18646836	18920215	18920215	2.82	0.113
3-Way Interactions	4	20510144	19753758	4938439	0.74	0.581
Lecitina*MGA*Agua	1	115977	158440	158440	0.02	0.880
Lecitina*MGA*Talco	1	4840064	4351481	4351481	0.65	0.432
Lecitina*Agua*Talco	1	9429608	9373282	9373282	1.40	0.255
MGA*Agua*Talco	1	6124495	5632204	5632204	0.84	0.373
4-Way Interactions	1	6195676	6195676	6195676	0.92	0.351
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	6195676	6195676	6195676	0.92	0.351
Residual Error	16	107367933	107367933	6710496		
Pure Error	16	107367933	107367933	6710496		
Total	31	288835343				

## Anexo 12. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Viscosidad del Elemento 1, $\eta_1$ (Modelo Maxwell Generalizado) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $\eta_1$

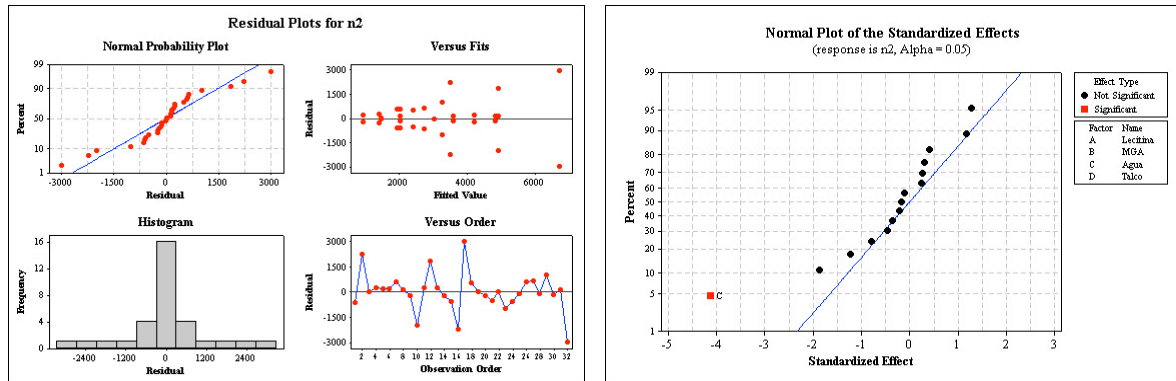
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3479	488.1	7.13	0.000
Lecitina	566	283	488.1	0.58	0.570
MGA	-628	-314	488.1	-0.64	0.529
Agua	-2092	-1046	488.1	-2.14	0.048
Talco	1088	544	488.1	1.11	0.282
Lecitina*MGA	291	146	488.1	0.30	0.769
Lecitina*Agua	102	51	488.1	0.10	0.918
Lecitina*Talco	1871	936	488.1	1.92	0.073
MGA*Agua	-770	-385	488.1	-0.79	0.442
MGA*Talco	423	211	488.1	0.43	0.671
Agua*Talco	-770	-385	488.1	-0.79	0.442
Lecitina*MGA*Agua	139	69	488.1	0.14	0.889
Lecitina*MGA*Talco	-876	-438	488.1	-0.90	0.383
Lecitina*Agua*Talco	-1231	-615	488.1	-1.26	0.226
MGA*Agua*Talco	-132	-66	488.1	-0.14	0.894
Lecitina*MGA*Agua*Talco	609	304	488.1	0.62	0.542

S = 2705.45      PRESS = \*  
R-Sq = 49.03%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 1.25%

### Análisis de Varianza para $\eta_1$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	51705438	50911752	12727938	1.74	0.191
Lecitina	1	2130174	2457950	2457950	0.34	0.570
MGA	1	2674146	3027614	3027614	0.41	0.529
Agua	1	36698269	33613943	33613943	4.59	0.048
Talco	1	10202849	9090772	9090772	1.24	0.282
2-Way Interactions	6	39430653	39117897	6519650	0.89	0.524
Lecitina*MGA	1	786228	652326	652326	0.09	0.769
Lecitina*Agua	1	50131	79400	79400	0.01	0.918
Lecitina*Talco	1	26744351	26898723	26898723	3.67	0.073
MGA*Agua	1	6046123	4549808	4549808	0.62	0.442
MGA*Talco	1	1228309	1371809	1371809	0.19	0.671
Agua*Talco	1	4575511	4552530	4552530	0.62	0.442
3-Way Interactions	4	18692732	18501759	4625440	0.63	0.647
Lecitina*MGA*Agua	1	217156	147589	147589	0.02	0.889
Lecitina*MGA*Talco	1	6171370	5897165	5897165	0.81	0.383
Lecitina*Agua*Talco	1	12214752	11632369	11632369	1.59	0.226
MGA*Agua*Talco	1	89453	134181	134181	0.02	0.894
4-Way Interactions	1	2844275	2844275	2844275	0.39	0.542
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	2844275	2844275	2844275	0.39	0.542
Residual Error	16	117110963	117110963	7319435		
Pure Error	16	117110963	117110963	7319435		
Total	31	229784061				

### Anexo 13. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Viscosidad del Elemento 2, $\eta_2$ (Modelo Maxwell Generalizado) en la Etapa 1



#### Efectos estimados y Coeficientes para $\eta_2$

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3085	288.3	10.70	0.000
Lecitina	177	88	288.3	0.31	0.763
MGA	-102	-51	288.3	-0.18	0.862
Agua	-2386	-1193	288.3	-4.14	0.001
Talco	741	371	288.3	1.29	0.217
Lecitina*MGA	682	341	288.3	1.18	0.254
Lecitina*Agua	-203	-101	288.3	-0.35	0.730
Lecitina*Talco	151	76	288.3	0.26	0.796
MGA*Agua	-710	-355	288.3	-1.23	0.236
MGA*Talco	231	116	288.3	0.40	0.694
Agua*Talco	-1085	-542	288.3	-1.88	0.078
Lecitina*MGA*Agua	-123	-61	288.3	-0.21	0.834
Lecitina*MGA*Talco	136	68	288.3	0.24	0.817
Lecitina*Agua*Talco	-62	-31	288.3	-0.11	0.915
MGA*Agua*Talco	-455	-228	288.3	-0.79	0.441
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-267	-133	288.3	-0.46	0.650

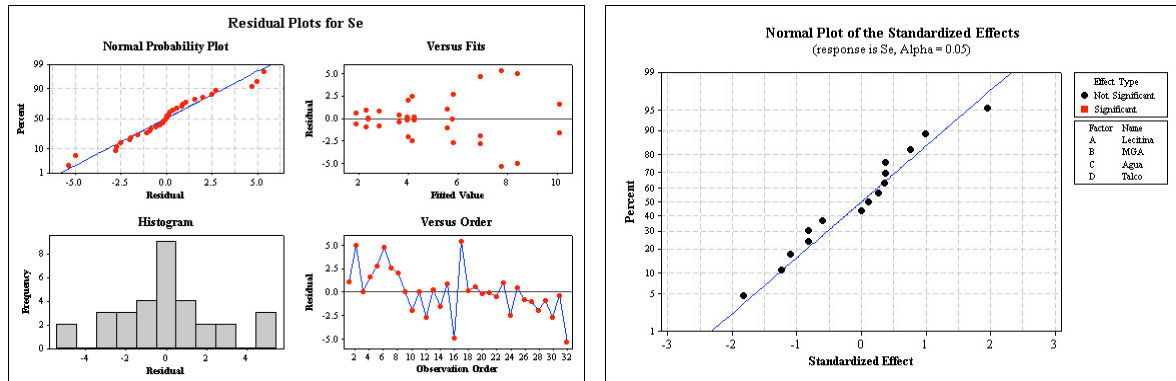
S = 1597.68 PRESS = \*  
R-Sq = 64.50% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 31.22%

#### Análisis de Varianza para $\eta_2$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	54102449	50846956	12711739	4.98	0.008
Lecitina	1	27042	239687	239687	0.09	0.763
MGA	1	2212	79734	79734	0.03	0.862
Agua	1	50168529	43710774	43710774	17.12	0.001
Talco	1	3904665	4221249	4221249	1.65	0.217
2-Way Interactions	6	17578912	17633454	2938909	1.15	0.379
Lecitina*MGA	1	2960877	3568699	3568699	1.40	0.254
Lecitina*Agua	1	137205	315838	315838	0.12	0.730
Lecitina*Talco	1	164085	175874	175874	0.07	0.796
MGA*Agua	1	5038871	3866353	3866353	1.51	0.236
MGA*Talco	1	282986	410633	410633	0.16	0.694
Agua*Talco	1	8994888	9038084	9038084	3.54	0.078
3-Way Interactions	4	1980431	1902387	475597	0.19	0.942
Lecitina*MGA*Agua	1	119548	115499	115499	0.05	0.834
Lecitina*MGA*Talco	1	152453	141854	141854	0.06	0.817
Lecitina*Agua*Talco	1	37260	29806	29806	0.01	0.915
MGA*Agua*Talco	1	1671170	1592918	1592918	0.62	0.441
4-Way Interactions	1	547391	547391	547391	0.21	0.650
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	547391	547391	547391	0.21	0.650
Residual Error	16	40841191	40841191	2552574		
Pure Error	16	40841191	40841191	2552574		
Total	31	115050373				



## Anexo 14. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Esfuerzo de Equilibrio $\sigma_e$ (Modelo Maxwell Generalizado) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $\sigma_e$

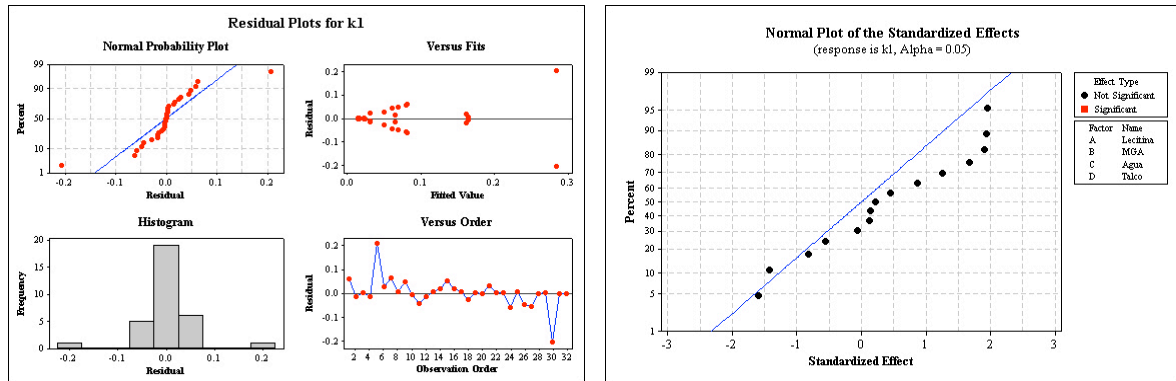
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.962	0.6193	8.01	0.000
Lecitina	0.333	0.166	0.6193	0.27	0.792
MGA	-1.028	-0.514	0.6193	-0.83	0.419
Agua	-2.264	-1.132	0.6193	-1.83	0.086
Talco	1.231	0.616	0.6193	0.99	0.335
Lecitina*MGA	0.131	0.066	0.6193	0.11	0.917
Lecitina*Agua	0.469	0.234	0.6193	0.38	0.710
Lecitina*Talco	2.427	1.214	0.6193	1.96	0.068
MGA*Agua	-1.020	-0.510	0.6193	-0.82	0.422
MGA*Talco	0.465	0.232	0.6193	0.38	0.713
Agua*Talco	-0.750	-0.375	0.6193	-0.61	0.553
Lecitina*MGA*Agua	0.445	0.223	0.6193	0.36	0.724
Lecitina*MGA*Talco	-1.548	-0.774	0.6193	-1.25	0.229
Lecitina*Agua*Talco	-1.369	-0.685	0.6193	-1.11	0.285
MGA*Agua*Talco	0.003	0.002	0.6193	0.00	0.998
Lecitina*MGA*Agua*Talco	0.950	0.475	0.6193	0.77	0.454

S = 3.43237 PRESS = \*  
R-Sq = 47.73% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 0.00%

### Análisis de Varianza para $\sigma_e$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	65.800	63.288	15.8219	1.34	0.297
Lecitina	1	0.546	0.851	0.8506	0.07	0.792
MGA	1	7.323	8.121	8.1207	0.69	0.419
Agua	1	43.641	39.368	39.3682	3.34	0.086
Talco	1	14.290	11.642	11.6419	0.99	0.335
2-Way Interactions	6	63.099	61.188	10.1980	0.87	0.540
Lecitina*MGA	1	0.167	0.133	0.1326	0.01	0.917
Lecitina*Agua	1	1.668	1.689	1.6890	0.14	0.710
Lecitina*Talco	1	44.549	45.244	45.2439	3.84	0.068
MGA*Agua	1	10.885	7.994	7.9935	0.68	0.422
MGA*Talco	1	1.497	1.658	1.6576	0.14	0.713
Agua*Talco	1	4.333	4.325	4.3253	0.37	0.553
3-Way Interactions	4	36.266	35.800	8.9500	0.76	0.566
Lecitina*MGA*Agua	1	2.172	1.523	1.5231	0.13	0.724
Lecitina*MGA*Talco	1	18.860	18.403	18.4026	1.56	0.229
Lecitina*Agua*Talco	1	15.220	14.397	14.3971	1.22	0.285
MGA*Agua*Talco	1	0.013	0.000	0.0001	0.00	0.998
4-Way Interactions	1	6.931	6.931	6.9306	0.59	0.454
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	6.931	6.931	6.9306	0.59	0.454
Residual Error	16	188.499	188.499	11.7812		
Pure Error	16	188.499	188.499	11.7812		
Total	31	360.594				

## Anexo 15. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para la Coeficiente $k_1$ (Modelo Peleg) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $k_1$

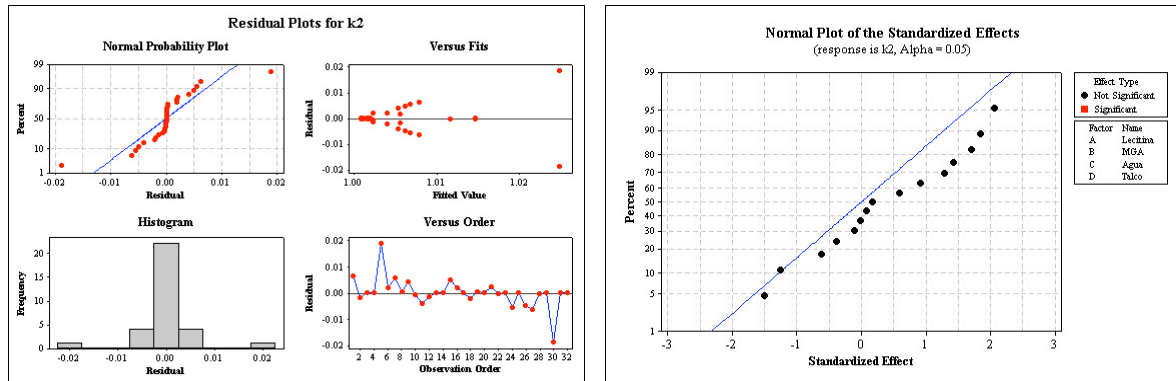
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.07232	0.01515	4.77	0.000
Lecitina		0.05867	0.02934	1.94	0.071
MGA		-0.04319	-0.02159	-1.43	0.173
Agua		0.05795	0.02898	1.91	0.074
Talco		0.05080	0.02540	1.68	0.113
Lecitina*MGA		-0.02490	-0.01245	-0.82	0.423
Lecitina*Agua		0.03811	0.01906	1.26	0.226
Lecitina*Talco		0.05934	0.02967	1.96	0.068
MGA*Agua		-0.00197	-0.00099	-0.07	0.949
MGA*Talco		-0.01702	-0.00851	-0.56	0.582
Agua*Talco		0.02659	0.01329	0.88	0.393
Lecitina*MGA*Agua		0.00369	0.00184	0.12	0.905
Lecitina*MGA*Talco		-0.04859	-0.02429	-1.60	0.128
Lecitina*Agua*Talco		0.01360	0.00680	0.45	0.659
MGA*Agua*Talco		0.00681	0.00341	0.22	0.825
Lecitina*MGA*Agua*Talco		0.00407	0.00204	0.13	0.895

S = 0.0839453 PRESS = \*  
R-Sq = 59.12% R-Sq(pred) = \*% R-Sq(adj) = 20.79%

### Análisis de Varianza para $k_1$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.092732	0.073631	0.0184078	2.61	0.075
Lecitina	1	0.027115	0.026440	0.0264404	3.75	0.071
MGA	1	0.014608	0.014324	0.0143244	2.03	0.173
Agua	1	0.026444	0.025791	0.0257910	3.66	0.074
Talco	1	0.024565	0.019819	0.0198193	2.81	0.113
2-Way Interactions	6	0.049952	0.042772	0.0071287	1.01	0.452
Lecitina*MGA	1	0.003840	0.004762	0.0047617	0.68	0.423
Lecitina*Agua	1	0.009932	0.011156	0.0111557	1.58	0.226
Lecitina*Talco	1	0.027508	0.027041	0.0270408	3.84	0.068
MGA*Agua	1	0.000071	0.000030	0.0000300	0.00	0.949
MGA*Talco	1	0.002448	0.002226	0.0022261	0.32	0.582
Agua*Talco	1	0.006152	0.005429	0.0054290	0.77	0.393
3-Way Interactions	4	0.020227	0.020303	0.0050757	0.72	0.591
Lecitina*MGA*Agua	1	0.000495	0.000104	0.0001044	0.01	0.905
Lecitina*MGA*Talco	1	0.017911	0.018131	0.0181305	2.57	0.128
Lecitina*Agua*Talco	1	0.001447	0.001420	0.0014205	0.20	0.659
MGA*Agua*Talco	1	0.000374	0.000356	0.0003564	0.05	0.825
4-Way Interactions	1	0.000128	0.000128	0.0001275	0.02	0.895
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	0.000128	0.000128	0.0001275	0.02	0.895
Residual Error	16	0.112749	0.112749	0.0070468		
Pure Error	16	0.112749	0.112749	0.0070468		
Total	31	0.275788				

## Anexo 16. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Coeficiente $k_2$ (Modelo Peleg) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $k_2$

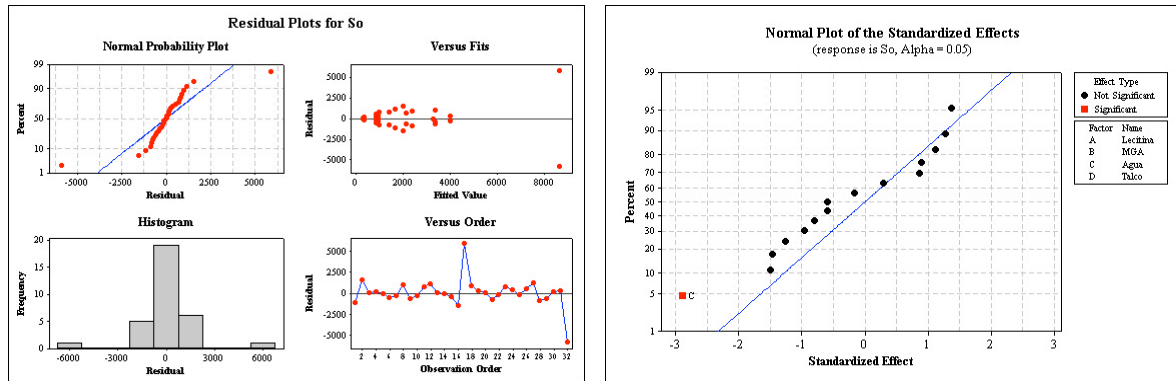
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.00604	0.001392	722.52	0.000
Lecitina	0.00476	0.00238	0.001392	1.71	0.107
MGA	-0.00350	-0.00175	0.001392	-1.26	0.227
Agua	0.00576	0.00288	0.001392	2.07	0.055
Talco	0.00398	0.00199	0.001392	1.43	0.172
Lecitina*MGA	-0.00174	-0.00087	0.001392	-0.63	0.541
Lecitina*Agua	0.00360	0.00180	0.001392	1.29	0.214
Lecitina*Talco	0.00513	0.00257	0.001392	1.84	0.084
MGA*Agua	-0.00032	-0.00016	0.001392	-0.11	0.911
MGA*Talco	-0.00107	-0.00054	0.001392	-0.38	0.706
Agua*Talco	0.00256	0.00128	0.001392	0.92	0.372
Lecitina*MGA*Agua	0.00020	0.00010	0.001392	0.07	0.942
Lecitina*MGA*Talco	-0.00419	-0.00210	0.001392	-1.51	0.152
Lecitina*Agua*Talco	0.00163	0.00081	0.001392	0.59	0.567
MGA*Agua*Talco	0.00046	0.00023	0.001392	0.16	0.871
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-0.00005	-0.00002	0.001392	-0.02	0.987

S = 0.00771750    PRESS = \*  
R-Sq = 56.38%    R-Sq(pred) = \*%    R-Sq(adj) = 15.48%

### Análisis de Varianza para $k_2$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.00068962	0.00055363	0.00013841	2.32	0.101
Lecitina	1	0.00017861	0.00017389	0.00017389	2.92	0.107
MGA	1	0.00009591	0.00009386	0.00009386	1.58	0.227
Agua	1	0.00026221	0.00025466	0.00025466	4.28	0.055
Talco	1	0.00015290	0.00012160	0.00012160	2.04	0.172
2-Way Interactions	6	0.00038393	0.00032750	0.00005458	0.92	0.508
Lecitina*MGA	1	0.00001806	0.00002330	0.00002330	0.39	0.541
Lecitina*Agua	1	0.00009111	0.00009976	0.00009976	1.68	0.214
Lecitina*Talco	1	0.00020634	0.00020238	0.00020238	3.40	0.084
MGA*Agua	1	0.00000144	0.00000077	0.00000077	0.01	0.911
MGA*Talco	1	0.00001008	0.00000881	0.00000881	0.15	0.706
Agua*Talco	1	0.00005689	0.00005027	0.00005027	0.84	0.372
3-Way Interactions	4	0.00015808	0.00015778	0.00003945	0.66	0.627
Lecitina*MGA*Agua	1	0.00000268	0.00000032	0.00000032	0.01	0.942
Lecitina*MGA*Talco	1	0.00013286	0.00013494	0.00013494	2.27	0.152
Lecitina*Agua*Talco	1	0.00002094	0.00002038	0.00002038	0.34	0.567
MGA*Agua*Talco	1	0.00000160	0.00000161	0.00000161	0.03	0.871
4-Way Interactions	1	0.00000002	0.00000002	0.00000002	0.00	0.987
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	0.00000002	0.00000002	0.00000002	0.00	0.987
Residual Error	16	0.00095296	0.00095296	0.00005956		
Pure Error	16	0.00095296	0.00095296	0.00005956		
Total	31	0.00218460				

## Anexo 17. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para el Esfuerzo Inicial $\sigma_0$ (Modelo Peleg) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para $\sigma_0$

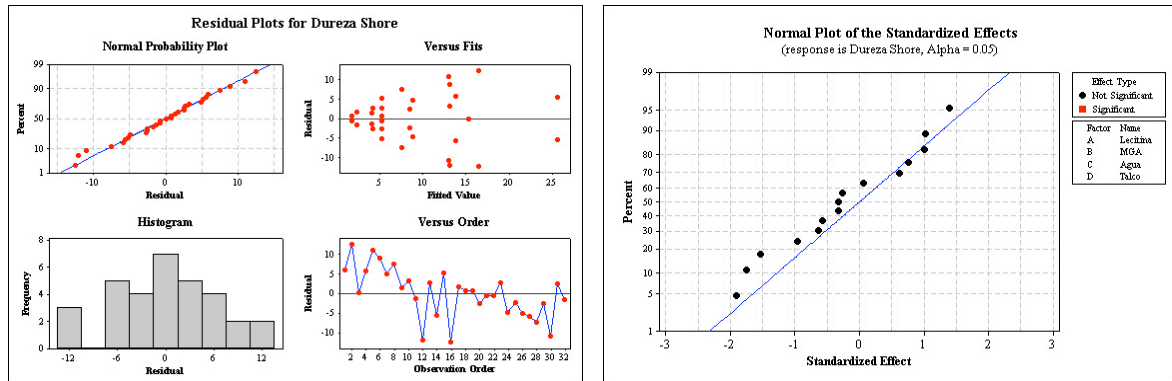
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2136	414.7	5.15	0.000
Lecitina	-145	-73	414.7	-0.18	0.863
MGA	923	462	414.7	1.11	0.282
Agua	-2408	-1204	414.7	-2.90	0.010
Talco	720	360	414.7	0.87	0.398
Lecitina*MGA	1054	527	414.7	1.27	0.222
Lecitina*Agua	-496	-248	414.7	-0.60	0.558
Lecitina*Talco	249	125	414.7	0.30	0.768
MGA*Agua	-1246	-623	414.7	-1.50	0.153
MGA*Talco	745	372	414.7	0.90	0.383
Agua*Talco	-1050	-525	414.7	-1.27	0.224
Lecitina*MGA*Agua	-804	-402	414.7	-0.97	0.347
Lecitina*MGA*Talco	1144	572	414.7	1.38	0.187
Lecitina*Agua*Talco	-494	-247	414.7	-0.60	0.560
MGA*Agua*Talco	-663	-332	414.7	-0.80	0.436
Lecitina*MGA*Agua*Talco	-1218	-609	414.7	-1.47	0.161

S = 2298.28      PRESS = \*  
R-Sq = 60.18%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 22.85%

### Análisis de Varianza para $\sigma_0$

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	57064850	57270443	14317611	2.71	0.067
Lecitina	1	179517	161989	161989	0.03	0.863
MGA	1	6889268	6548765	6548765	1.24	0.282
Agua	1	46569308	44537459	44537459	8.43	0.010
Talco	1	3426756	3979013	3979013	0.75	0.398
2-Way Interactions	6	36966555	36085422	6014237	1.14	0.385
Lecitina*MGA	1	9563005	8539918	8539918	1.62	0.222
Lecitina*Agua	1	2318947	1891778	1891778	0.36	0.558
Lecitina*Talco	1	345888	477045	477045	0.09	0.768
MGA*Agua	1	11928637	11918937	11918937	2.26	0.153
MGA*Talco	1	4070590	4257711	4257711	0.81	0.383
Agua*Talco	1	8739489	8470762	8470762	1.60	0.224
3-Way Interactions	4	22293166	21660803	5415201	1.03	0.424
Lecitina*MGA*Agua	1	7249567	4962165	4962165	0.94	0.347
Lecitina*MGA*Talco	1	9426075	10054834	10054834	1.90	0.187
Lecitina*Agua*Talco	1	1717540	1870446	1870446	0.35	0.560
MGA*Agua*Talco	1	3899984	3379171	3379171	0.64	0.436
4-Way Interactions	1	11391484	11391484	11391484	2.16	0.161
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	11391484	11391484	11391484	2.16	0.161
Residual Error	16	84513812	84513812	5282113		
Pure Error	16	84513812	84513812	5282113		
Total	31	212229867				

## Anexo 18. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Dureza Shore (S) en la Etapa 1



### Efectos estimados y Coeficientes para Dureza Shore Etapa 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		9.375	1.555	6.03	0.000
Lecitina	-0.813	-0.406	1.555	-0.26	0.797
MGA	-5.463	-2.731	1.555	-1.76	0.098
Agua	-4.763	-2.381	1.555	-1.53	0.145
Talco	0.213	0.106	1.555	0.07	0.946
Lecitina*MGA	-2.975	-1.488	1.555	-0.96	0.353
Lecitina*Agua	2.375	1.188	1.555	0.76	0.456
Lecitina*Talco	4.350	2.175	1.555	1.40	0.181
MGA*Agua	-1.025	-0.513	1.555	-0.33	0.746
MGA*Talco	-1.775	-0.888	1.555	-0.57	0.576
Agua*Talco	-1.025	-0.513	1.555	-0.33	0.746
Lecitina*MGA*Agua	3.163	1.581	1.555	1.02	0.324
Lecitina*MGA*Talco	-5.938	-2.969	1.555	-1.91	0.074
Lecitina*Agua*Talco	-1.988	-0.994	1.555	-0.64	0.532
MGA*Agua*Talco	3.188	1.594	1.555	1.03	0.321
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1.925	0.962	1.555	0.62	0.545

S = 8.61735      PRESS = \*  
R-Sq = 50.63%      R-Sq(pred) = \*%      R-Sq(adj) = 4.34%

### Análisis de Varianza para Dureza Shore Etapa 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	431.43	425.82	106.455	1.43	0.268
Lecitina	1	3.65	5.07	5.070	0.07	0.797
MGA	1	250.88	229.16	229.163	3.09	0.098
Agua	1	171.13	174.19	174.193	2.35	0.145
Talco	1	5.78	0.35	0.347	0.00	0.946
2-Way Interactions	6	275.96	261.75	43.625	0.59	0.736
Lecitina*MGA	1	62.25	67.97	67.973	0.92	0.353
Lecitina*Agua	1	38.70	43.32	43.320	0.58	0.456
Lecitina*Talco	1	132.73	145.32	145.325	1.96	0.181
MGA*Agua	1	10.08	8.07	8.069	0.11	0.746
MGA*Talco	1	21.67	24.20	24.197	0.33	0.576
Agua*Talco	1	10.52	8.07	8.069	0.11	0.746
3-Way Interactions	4	482.48	475.76	118.940	1.60	0.222
Lecitina*MGA*Agua	1	88.44	76.81	76.811	1.03	0.324
Lecitina*MGA*Talco	1	283.10	270.75	270.750	3.65	0.074
Lecitina*Agua*Talco	1	28.96	30.34	30.337	0.41	0.532
MGA*Agua*Talco	1	81.98	78.03	78.030	1.05	0.321
4-Way Interactions	1	28.46	28.46	28.459	0.38	0.545
Lecitina*MGA*Agua*Talco	1	28.46	28.46	28.459	0.38	0.545
Residual Error	16	1188.14	1188.14	74.259		
Pure Error	16	1188.14	1188.14	74.259		
Total	31	2406.46				

## Anexo 19. Análisis Estadístico Correlación Dureza TPA (D) vs Dureza Shore (DS)

Equation: Polynomial, Linear ( $D=y0+a*DS$ )

R	Rsqr	Adj Rsqr	Standard Error of Estimate
0.7366	0.5426	0.5273	44.0306

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	95.7944	11.4174	8.3902	<0.0001	2.1517
a	5.3540	0.8976	5.9651	<0.0001	2.1517

### Analysis of Variance:

Uncorrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS
Regression	2747550.9568	373775.4784	
Residual	30	58160.8525	1938.6951
Total	32805711.8093	25178.4940	

Corrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	68982.4348	68982.4348	35.5819	<0.0001
Residual	30	58160.8525	1938.6951		
Total	31127143.2873	4101.3964			

### Statistical Tests:

PRESS 65259.6995  
 Durbin-Watson Statistic 1.7459 Passed  
 Normality Test Passed (P = 0.8343)  
 K-S Statistic = 0.1073 Significance Level = 0.8343  
 Constant Variance Test Passed (P = 0.4441)

Equation: Polynomial, Quadratic ( $D=y0+a*DS+b*DS^2$ )

R	Rsqr	Adj Rsqr	Standard Error of Estimate
0.7474	0.5586	0.5281	43.9926

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	85.8919	14.9451	5.7472	<0.0001	3.6931
a	8.2984	3.0076	2.7591	0.0099	24.2016<
b	-0.1081	0.1054	-1.0256	0.3136	16.0609<

### Analysis of Variance:

Uncorrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS
Regression	3749586.6935	249862.2312	
Residual	29	56125.1158	1935.3488
Total	32	805711.8093	25178.4940

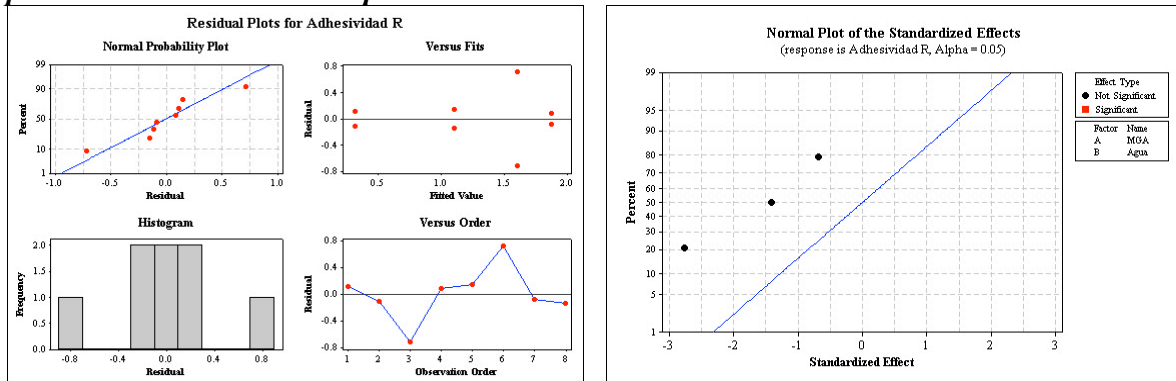
Corrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	71018.1716	35509.0858	18.3476	<0.0001
Residual	29	56125.1158	1935.3488		
Total	31127143.2873	4101.3964			

### Statistical Tests:

PRESS 65226.7117  
 Durbin-Watson Statistic 1.7538 Passed  
 Normality Test Passed (P = 0.9292)  
 K-S Statistic = 0.0938 Significance Level = 0.9292  
 Constant Variance Test Passed (P = 0.4661)

## Anexo 20. Gráficas de Residuales y Efectos Estandarizados y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad en la Etapa 2 – Máxima Pendiente



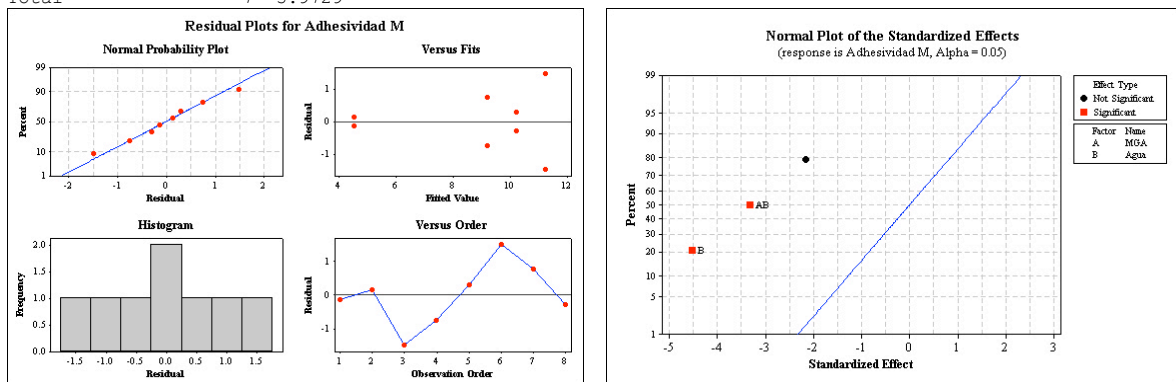
### Efectos estimados y Coeficientes para Adhesividad (Resina Acrilica)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.2268	0.1870	6.56	0.003
MGA	-0.5315	-0.2657	0.1870	-1.42	0.228
Agua	-0.2565	-0.1282	0.1870	-0.69	0.531
MGA*Agua	-1.0385	-0.5192	0.1870	-2.78	0.050

S = 0.529000 PRESS = 4.47745  
R-Sq = 71.83% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 50.69%

### ANOVA - Adhesividad (Resina Acrilica)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.6966	0.6966	0.3483	1.24	0.380
MGA	1	0.5650	0.5650	0.5650	2.02	0.228
Agua	1	0.1316	0.1316	0.1316	0.47	0.531
2-Way Interactions	1	2.1570	2.1570	2.1570	7.71	0.050
MGA*Agua	1	2.1570	2.1570	2.1570	7.71	0.050
Residual Error	4	1.1194	1.1194	0.2798		
Pure Error	4	1.1194	1.1194	0.2798		
Total	7	3.9729				



### Efectos estimados y Coeficientes para Adhesividad (Metal)

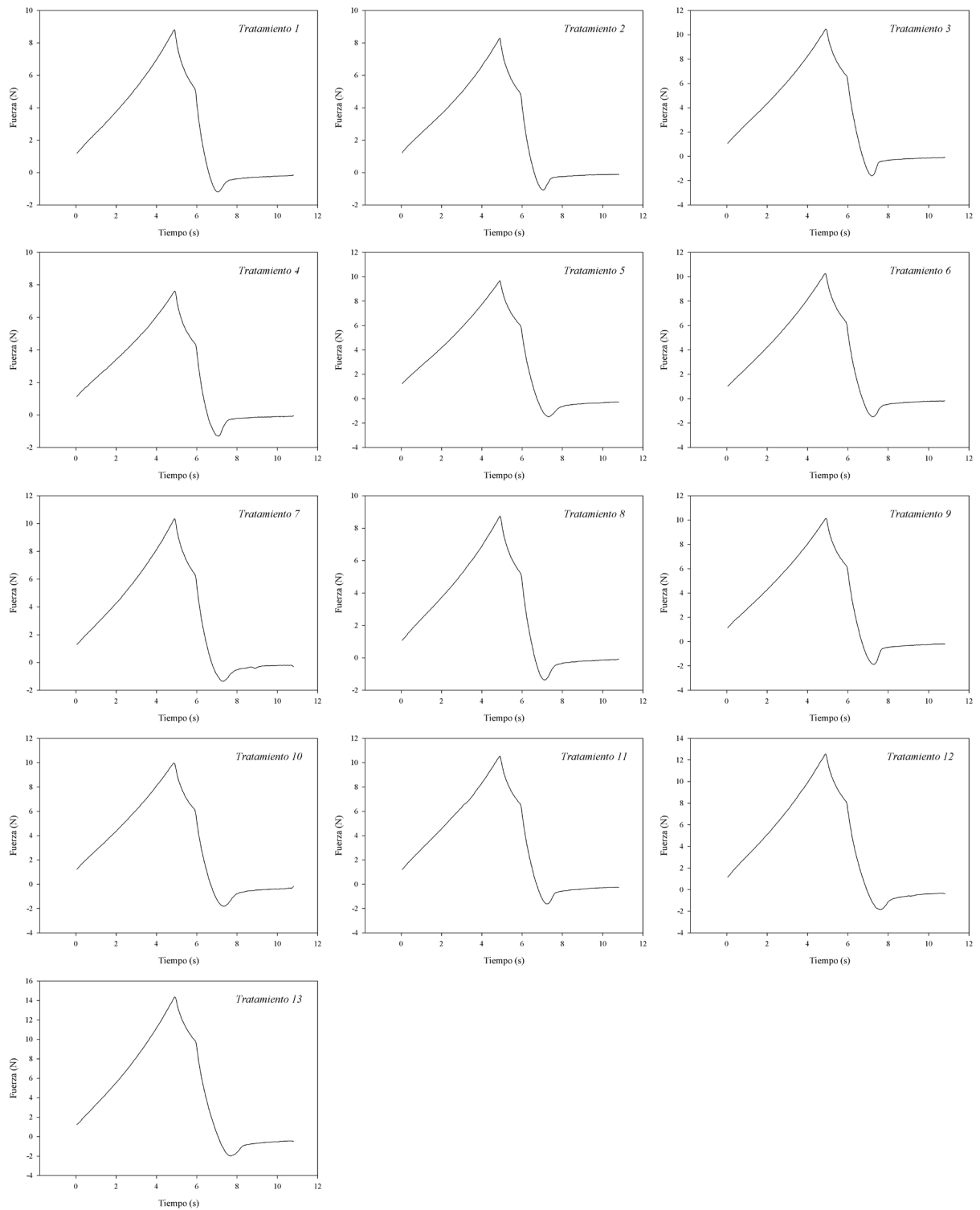
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		8.808	0.4262	20.67	0.000
MGA	-1.837	-0.918	0.4262	-2.15	0.097
Agua	-3.872	-1.936	0.4262	-4.54	0.010
MGA*Agua	-2.836	-1.418	0.4262	-3.33	0.029

S = 1.20554 PRESS = 23.2531  
R-Sq = 90.08% R-Sq(pred) = 60.34% R-Sq(adj) = 82.65%

### ANOVA - Adhesividad (Metal)

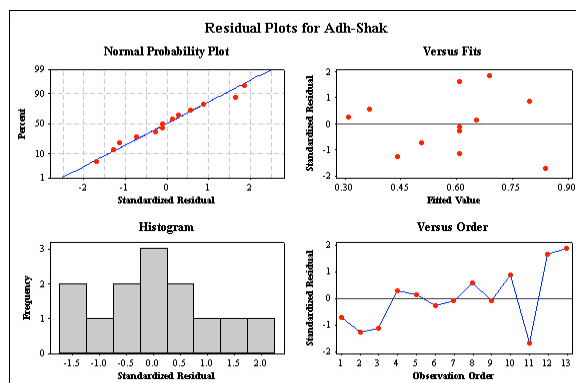
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	36.7282	36.7282	18.364	12.64	0.019
MGA	1	6.7473	6.7473	6.747	4.64	0.097
Agua	1	29.9809	29.9809	29.981	20.63	0.010
2-Way Interactions	1	16.0886	16.0886	16.089	11.07	0.029
MGA*Agua	1	16.0886	16.0886	16.089	11.07	0.029
Residual Error	4	5.8133	5.8133	1.453		
Pure Error	4	5.8133	5.8133	1.453		
Total	7	58.6301				

## Anexo 21. Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidos por la Prueba de Shakanoshita para los diferentes tratamientos de la Etapa 2





## Anexo 22. Gráficas de Residuales y Tabla de Efectos y ANOVA para Adhesividad método Shakanoshita – Diseño Central Rotatorio



### Efectos estimados y Coeficientes para Adhesividad Metodo Shakanoshita Etapa 2 – Central Rotatorio

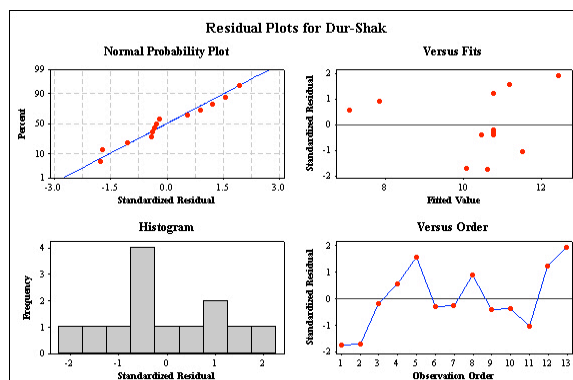
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.608000	0.08558	7.105	0.000
MGA	-0.075925	0.06765	-1.122	0.299
Agua	-0.168373	0.06765	-2.489	0.042
MGA*MGA	-0.030250	0.07255	-0.417	0.689
Agua*Agua	-0.002750	0.07255	-0.038	0.971
MGA*Agua	-0.022500	0.09568	-0.235	0.821

S = 0.191355 PRESS = 1.14754  
R-Sq = 52.32% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 18.27%

### Análisis de Varianza para Adhesividad Metodo Shakanoshita – Central Rotatorio

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.281314	0.281314	0.056263	1.54	0.292
Linear	2	0.272913	0.272913	0.136457	3.73	0.079
MGA	1	0.046117	0.046117	0.046117	1.26	0.299
Agua	1	0.226796	0.226796	0.226796	6.19	0.042
Square	2	0.006376	0.006376	0.003188	0.09	0.918
MGA*MGA	1	0.006323	0.006366	0.006366	0.17	0.689
Agua*Agua	1	0.000053	0.000053	0.000053	0.00	0.971
Interaction	1	0.002025	0.002025	0.002025	0.06	0.821
MGA*Agua	1	0.002025	0.002025	0.002025	0.06	0.821
Residual Error	7	0.256317	0.256317	0.036617		
Lack-of-Fit	3	0.134637	0.134637	0.044879	1.48	0.348
Pure Error	4	0.121680	0.121680	0.030420		
Total	12	0.537631				

## Anexo 23. Gráficas de Residuales y Tabla de Efectos y ANOVA para Dureza Método Shakanoshita – Diseño Central Rotatorio



## Efectos estimados y Coeficientes para Dureza Metodo Shakanoshita Etapa 2 – Central Rotatorio

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	10.7700	0.7457	14.443	0.000
MGA	-0.3927	0.5895	-0.666	0.527
Agua	-1.3055	0.5895	-2.215	0.062
MGA*MGA	-0.0719	0.6322	-0.114	0.913
Agua*Agua	-0.5444	0.6322	-0.861	0.418
MGA*Agua	-1.3900	0.8337	-1.667	0.139

S = 1.66737      PRESS = 115.346  
R-Sq = 55.89%    R-Sq(pred) = 0.00%    R-Sq(adj) = 24.38%

## Análisis de Varianza para Dureza Metodo Shakanoshita – Central Rotatorio

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	24.6587	24.6587	4.9317	1.77	0.237
Linear	2	14.8687	14.8687	7.4344	2.67	0.137
MGA	1	1.2337	1.2337	1.2337	0.44	0.527
Agua	1	13.6351	13.6351	13.6351	4.90	0.062
Square	2	2.0615	2.0615	1.0308	0.37	0.703
MGA*MGA	1	0.0000	0.0359	0.0359	0.01	0.913
Agua*Agua	1	2.0615	2.0615	2.0615	0.74	0.418
Interaction	1	7.7284	7.7284	7.7284	2.78	0.139
MGA*Agua	1	7.7284	7.7284	7.7284	2.78	0.139
Residual Error	7	19.4608	19.4608	2.7801		
Lack-of-Fit	3	15.3080	15.3080	5.1027	4.91	0.079
Pure Error	4	4.1528	4.1528	1.0382		
Total	12	44.1195				

## BIBLIOGRAFIA

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M. (2007) Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 290-298.
- Andersen, L., Wittorff, H. (2006). Biodegradable chewing gum comprising at least one high molecular weight biodegradable polymer. U.S. Pat No. 2006/0165842 A1
- Arisumi, K (1989); *Research Analysis: How to affect the masticatory movements of sweet foods*; Magazine 33, 1301-1312
- Burlett, D. J., Altman, M. B. (2002) Thermal Analysis and calorimetry of elastomers. *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry. V3: Applications to Polymers and Plastics*. S.Z.D. Cheng, 519-585.
- Chen, J. (2009) Food oral processing - A review. *Food Hydrocolloids*, 23, 1-25.
- Dave, J. C., et al. (1991) US Patent 5,135,761, March 28.
- Edwards. (2002). *La Ciencia de las Golosinas*. Editorial Acirbia.
- El Pais (España), 26 Nov 2010. El Gobierno hace el chicle menos pegajoso.
- Fenemma. (1996). *Food Chemistry*. Marcel Dekker Publisher.
- Jaya, S., Durance, T.D. (2005). Stress relaxation characteristics of dried hydrogel cellular solids. *The Canadian society for engineering in agricultural, food and biological systems*. 05-028
- Kawano, T., et al. (1991) Analysis of the chewing gum texture change with the masticatory movements of the lower jaw. *EMG* 9, 27-33
- Kealy, T. (2006) Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods. *Food Research International*, 39, 265-276.
- Kvist, et al. (2000). Equipment for drug release testing for medicated chewing gums. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 22, 405-411.
- Lawless, H., Heymann, H. (2003). *Sensory Evaluation of Foods, Principles and Practices*. Second Edition. Springer Science+Business Media, LLC.
- Meiners, Kreiten, Joike (1984). *Silesia Confiserie Manual: El nuevo Manual para la Industria de Confiteria*. Silesia.
- Minifie, B. (1999). *Chocolate, Cocoa and Confectionery*. 3rd Edition, Aspen Publishers, Inc.
- Mohamed, M., Aggag, G. (2003) Uncertainty evaluation of short hardness testers. *Measurement*, 33, 251-257.
- Leblanc., J.L. (2002) Rubber-filler interactions and rheological properties in filled components. *Prog. Polym. Sci*, 27, 627-687.
- Patel, M. M. et al. (1980) US Patent 5,041,293, December 28.
- Pittia, P., Sacchetti, G. (2008) Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. *Food Chemistry*, 106, 1417-1427.
- Sakanoshita, N., et al. (2006) Study on Evaluation of Adhesive Properties of Chewing Gum (Studies on Rheology of Chewing Gum Part I). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, V53, N5, 275-280.
- Sakanoshita, N. et al. (2008). Investigation of Chewing Gum adhesiveness with instrumental measurement and study of relationship between measurement and questionnaire results. *Nippon Shokuhin Kogaku Kaishi*, V 55, No. 6, 309-316.
- Sakanoshita, N. et al. (2009). Comparison of Chewing gum adhesiveness and sensory evaluations between panels of young and elderly individuals. *Nippon Shokuhin Kogaku Kaishi*, V 56, No. 6, 363-369.
- Salles, C. et al. (2007). Development of a chewing simulator for food breakdown and the analysis of in vitro flavor compound release in a mouth environment. *Journal of food engineering*, 82, 189-198.
- Schantz, B., Rohm, H. (2005) Influence of lecithin-PGPR blend on the rheological properties of chocolate. *Lebensm.-Wiss. u. - Techol*, 38, 41-45.
- Slade, L., Levine, H. (1995) Water and the glass transition - Dependence of the glass transition on composition and chemical structure: special implications for flour functionality in cookie baking. *Journal of Food Engineering*, 24, 431-509.
- Sozzi, G., Del Viscio, G. (2011). Non sticky gum base for chewing gum. U.S. Patent 7,871,650

- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Second Edition, Freeman Press, USA.
- Szczesniak, A. (2002) Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
- Van Nieuwenhuysen, W., Sponholtz, M. (2003) Quality Improvements in Chewing Gum using Lecithins (Flexibility, Hardness & Taste). *Manufacturing Technology of Chewing & Bubble Gum*, ZDS, 1-8.
- University of Bristol, 14 Sep 2007 (Press release). Major break through for non-stick chewing gum.
- Weyland, M., Hartel, R. (2008) Emulsifiers in Confectionery. *Food Emulsifiers and Their Applications*, Hasenhuettl and R.W. Hartel, 285-305.
- Wilkinson, C., Dijksterhuis, G.B., Minekus, M. (2000) From food structure to texture. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 442-450.
- Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F. (2008) Phase transitions and hygroscopicity in chewing gum manufacture. *Food Engineering: Integrated approaches*, 139-153.
- Woda, A., et al. (2010). Development and validation of a mastication simulator. *Journal of Biomechanics*, 43, 1667-1673.